

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vera Patrícia Pereira da Silva

Reabilitação Energética de Edifícios
Residenciais: Propostas de intervenção
numa perspetiva de otimização da relação
custo/benefício



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vera Patrícia Pereira da Silva

Reabilitação Energética de Edifícios
Residenciais: Propostas de intervenção
numa perspetiva de otimização da relação
custo/benefício

Tese de Mestrado
Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Maria Manuela de Oliveira Guedes de
Almeida

outubro de 2013

DECLARAÇÃO

Nome _____

Endereço eletrónico: _____ Telefone: _____/ _____

Número do Bilhete de Identidade: _____

Título _____ dissertação ☐/tese ☐

Orientador (es): _____

Ano de conclusão: _____

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento: _____

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respetiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
3. DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, ___/___/____

Assinatura: _____

Agradecimentos

No desenvolvimento e conclusão desta dissertação foram vários os contributos preciosos. Alguns, muito importantes de natureza técnica, outros não menos fundamentais, de natureza motivacional. Gostaria por isso de expressar os meus agradecimentos:

Ao Arquitecto Marco Ferreira pela disponibilidade constante e apoio técnico, pelas inúmeras trocas de impressões e comentários ao trabalho, sempre em tempo útil.

À Professora Manuela Almeida.

Às amigas Joana Neves e Ana Araújo.

E finalmente ao Pedro e à Ema pela paciência e apoio nos momentos mais desanimadores.

Obrigada!

RESUMO

Durante séculos o homem dependeu de fontes de energia renováveis como os moinhos de vento e de água, a utilização da madeira e animais e a própria mão-de-obra humana. A partir da Revolução Industrial (século XIX) essas fontes deixaram de ser suficientes e verificou-se um crescimento da dependência energética da humanidade. O consumo energético tem vindo a agravar-se desde então, sendo o setor dos edifícios um dos mais consumidores. Com o crescimento deste setor o seu consumo energético tem aumentado, sendo, na UE, 40% de toda a energia consumida. Devido a este facto a UE considera a redução do consumo energético e a utilização de energias renováveis nos edifícios, duas medidas significativas na redução e controlo da sua dependência energética e emissão de gases de efeitos estufa (PARLAMENTO EUROPEU, 2010). Neste sentido, tem vindo a regulamentar impondo e diferenciando requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios novos e existentes. Aliás, a tendência legislativa é levar os edifícios novos a um balanço energético quase nulo (níveis de consumo idênticos aos de produção a partir de fontes de energia renováveis). Por outro lado o ritmo de construção nova tem abrandado, o que significa que as exigências regulamentares aplicadas só aos edifícios novos não seriam suficientes para atingir as metas assumidas pela UE. Será necessário portanto intervir nos edifícios existentes. Portugal também sofre de elevados níveis de dependência energética do exterior (cerca de 77,1% em 2011) e os edifícios são responsáveis por cerca de 30% da energia final consumida. No entanto, estima-se que mais de 50% deste consumo possa ser reduzido adotando medidas de eficiência energética e permitindo reduções de emissões de CO₂ (DGEG, 2012). Os alojamentos familiares em Portugal representam cerca de 18% da energia consumida pelos edifícios e como tal é premente definir soluções de reabilitação energética para minimizar consumos e otimizar a sua eficiência. Com este trabalho pretende-se identificar e caracterizar medidas (relacionadas com a envolvente, com os sistemas AVAC e com a produção de energia renovável “*in situ*”) mais económico-eficientes para garantir num edifício de habitação existente soluções de reabilitação otimizadas. Esta caracterização reunirá informação, cuja análise levará a concluir sobre os conjuntos ótimos de soluções a implementar nos edifícios. As soluções ótimas poderiam reduzir todos os custos envolvidos na reabilitação energética (custos iniciais, custos energéticos, ambientais, de exploração e manutenção).

Palavras-Chave: Eficiência Energética em Edifícios Residenciais; Medidas de Reabilitação Custo-Benefício Ótimas; Reabilitação Energética

ABSTRACT

For many centuries man depended from renewable energy sources like windmills and watermills, the use of wood and animals and their own labor work. Since the Industrial Revolution (XIX century), these sources are no longer sufficient and the humanity energy dependency is growing. Energy consumption has become higher since then and the building sector is one of the most responsible for it. In the European Union (EU) buildings are responsible for 40% of all energy consumed, which have a big impact not only on its energy dependency, but also on the environment. Note that as the EU's resources are scarce, and the rate of consumption does not allow its renewal, the sustainability of it and welfare of all is at risk. As such, the EU considers the reduction of energy consumption and use of renewable energy in buildings, two significant steps towards the reduction and control of their energy dependency and emission of greenhouse gases (PARLAMENTO EUROPEU, 2010). Thus, EU has been imposing several Directives regulating and differentiating minimum energy performance of new and existing buildings. Moreover, the legislative trend is to bring the new buildings to a technological level where they have a nearly zero energy balance (i.e. where consumption levels are identical to the production from renewable sources). This trend reveals a serious and growing concern regarding the rational and efficient use of energy. On the other hand construction of new buildings is slowing down, which means that the regulatory requirements applied only to new buildings would not be sufficient to achieve the targets set by the EU. It will be necessary therefore to intervene on existing buildings. Portugal suffers also from high levels of external energy dependency (about 77,1 % in 2011) (DGEG, 2011) and the building sector contributes significantly for final energy consumption, around 30%. However, it is estimated that over 50% of this consumption can be reduced by adopting energy efficiency measures, while allowing significant reductions in CO₂ emissions (DGEG, 2012). More than 5,5 million houses in Portugal represent approximately 18% of energy consumed by buildings. This consumption is so significant that it's urgent to define solutions for energy rehabilitation minimizing energy consumption and optimizing efficiency. This work intends to identify cost-effective rehabilitation measures to be taken on the envelope, HVAC systems and "*in situ*" renewable energy production to ensure optimized rehabilitation solutions in existing residential buildings. This will lead to optimal packages of renovation measures which, if implemented, would minimize the global costs of a rehabilitation intervention (initial investment costs, running costs and maintenance costs).

Keywords: Energy Efficiency in Buildings, Cost-effective Rehabilitation Measures, Thermal Rehabilitation

ÍNDICE

1.	CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Objetivos e fatores que contribuem para a oportunidade da realização da dissertação ..	7
1.3.	Estrutura da dissertação	9
2.	CAPÍTULO 2 - A REALIDADE DO SETOR DOS EDIFÍCIOS EM PORTUGAL E SEU DESEMPENHO ENERGÉTICO	11
2.1.	Reabilitação Energética	14
2.1.1.	Medidas.....	14
2.1.2.	Dificuldades	18
2.2.	Políticas de incentivo à Eficiência Energética e Reabilitação nos Edifícios	20
3.	CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA CÁLCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS	29
3.1.	Edifícios de Referência.....	29
3.2.	Seleção de variantes/medidas/conjuntos.....	32
3.2.1.	Envolvente Opaca	34
3.2.2.	Envolvente Transparente	36
3.2.3.	Sistemas	37
3.3.	Cálculo das Necessidades de Energia Primária decorrentes da aplicação das medidas/variantes e do Valor máximo das Necessidades Energéticas	41
3.4.	Custo global	44
3.4.1.	Cálculo do custo global: financeiro e macroeconómico.....	46
3.4.2.	Custos iniciais de investimento	48
3.4.3.	Custos de utilização: manutenção e energia	48
3.4.4.	Custos das emissões de gases com efeito de estufa.....	50
3.5.	Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados.....	51
3.6.	Obtenção de um nível ótimo de rentabilidade dos custos de desempenho energético .	52
4.	CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA	55
4.1.	Apresentação do caso de estudo 1 - Informação geral.....	55
4.1.1.	Determinação das Necessidades de Energia Útil e Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária	57

4.1.2.	Variantes Analisadas – Caso de estudo 1	64
4.1.3.	Determinação dos Custos - Cálculo do custo global financeiro e macroeconómico....	72
4.1.4.	Análise e conclusões da avaliação comparativa das medidas implementadas	72
4.2.	Apresentação do caso de estudo 2 - Informação geral.....	89
4.2.1.	Determinação das Necessidades de Energia Útil e Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária	95
4.2.2.	Variantes Seleccionadas – Caso de estudo 2	101
4.2.3.	Determinação dos Custos - Cálculo do custo global financeiro e macroeconómico..	105
4.2.4.	Análise e conclusões da avaliação comparativa das medidas implementadas	105
4.3.	Análise comparativa – Caso de Estudo 1 e 2.....	117
5.	CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA ESTUDADAS.....	123
5.1.	Cenário 1 - Alteração da localização geográfica do edifício (Bragança e Faro)	123
5.2.	Cenário 2 - Alteração do fator de obstrução (zona urbana/zona rural).....	128
5.3.	Cenário 3 - Alteração da taxa de desconto na perspetiva privada para 4% e 3%	130
5.4.	Cenário 4 - Alteração da taxa de evolução do preço da energia, considerando 2% e 4%	136
6.	CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES	143
6.1.	Propostas de trabalhos futuros	145
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
	ANEXOS	155
	ANEXO 1 - DEFINIÇÕES DO REGULAMENTO DELEGADO.....	157
	ANEXO 2 – DADOS ESTATÍSTICOS (CENSOS 2011)	159
	ANEXO 3 – PORTARIA TÉCNICA DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE DE 2012 (MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO)	161
	ANEXO 4 – CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS EM ANÁLISE	163
	ANEXO 5 – RELATÓRIOS ENERGÉTICOS (SOLTERM)	175
	ANEXO 6 - PLANTAS E CORTES DOS EDIFÍCIOS EM ANÁLISE.....	181
	ANEXO 7 – RESULTADOS DOS CASOS DE ESTUDO	183

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa nacional de dados estatísticos (População residente, famílias, alojamentos e edifícios) (INE, 2013)	31
Figura 2 –	Categorização dos custos de acordo com o quadro metodológico (JOUE, 2012)45	
Figura 3 –	Diferentes variantes (1 a 6) e posição do intervalo de rentabilidade ótima.....	52
Figura 4 –	Localização geográfica do edifício – Caso de estudo 1.....	55
Figura 5 –	Plantas do piso Rés-do-Chão e Piso 1 – Caso de estudo 1.....	56
Figura 6 –	Esquema representativo (sombreamentos verticais) – Caso de estudo 1	61
Figura 7 –	Relação Custos Globais/ Ntc – Soluções e Medidas de melhoria	73
Figura 8 –	Medidas de melhoria da Solução 1	75
Figura 9 –	Relação entre as Ntc e o Custo Global da SOL2 com Ar Condicionado.....	76
Figura 10 –	Relação entre as Ntc e o Custo Global da SOL2 sem Ar Condicionado	76
Figura 11 –	Relação Custos Globais/ Ntc –Soluções e medidas de melhoria - SOL 2 sem AC78	
Figura 12 –	Medidas de melhoria - SOL3 e SOL4.....	80
Figura 13 –	Medidas de melhoria – Caso de estudo 1	83
Figura 14 –	Medidas de melhoria – SOL 4 (otimização).....	84
Figura 15 –	Localização geográfica do edifício – Caso de estudo 2.....	90
Figura 16 –	Plantas do piso Rés-do-Chão e Piso 1 - Caso de estudo 2	91
Figura 17 –	Alçados e Corte Transversal – Caso de estudo 2.....	92
Figura 18 –	Cobertura do edifício e parede exterior – Caso de estudo 2.....	92
Figura 19 –	Planta do rés-do-chão – Caso de estudo 2	94
Figura 20 –	Alçado Posterior e Alçado Principal – Caso de estudo 2	94
Figura 21 –	Módulos M14 e M23 – Caso de estudo 2	95
Figura 22 –	Relação Custos Globais/ Ntc – Soluções e Medidas de melhoria	106
Figura 23 –	Relação Custos Globais/ Ntc para as soluções de melhoria SOL3, 4 e 5.....	111
Figura 24 –	Relação Custos Globais/ Ntc para as soluções de melhoria SOL 4 e 5 com Termoacumulador a Gás	113
Figura 25 –	Relação Custos Globais/ Ntc – Caso de estudo 1	118
Figura 26 –	Relação Custos Globais/ Ntc – Caso de estudo 2	119
Figura 27 –	Otimização das Medidas Melhoria - BRAGANÇA.....	124
Figura 28 –	Otimização das Medidas Melhoria - FARO.....	126
Figura 29 –	Comparação de 9 variantes com diferentes ângulos de obstrução horizonte (45° e 20° em Vila Nova de Gaia)	128

Figura 30 –	Cenário 3 - Relação Custos Globais/ Ntc (Taxa desconto Persp. Privada - 5%)	130
Figura 31 –	Cenário 3 - Relação Custos Globais/ Ntc (Taxa desconto Persp. Privada - 4%)	131
Figura 32 –	Cenário 3 - Relação Custos Globais/ Ntc (Taxa desconto Persp. Privada - 3%)	132
Figura 33 –	Cenário 4 - Custos Globais/ Ntc (Taxa evolução do custo de Energia - 4%)....	137
Figura 34 –	Cenário 4 - Custos Globais/ Ntc (Taxa evolução do custo de Energia - 3%)....	137
Figura 35 –	Cenário 4 - Custos Globais/ Ntc (Taxa evolução do custo de Energia - 2%)....	138

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 -	Resumo das poupanças totais alcançadas com o PNAEE.....	23
Quadro 2 -	Área e programas do PNAEE 2016 (PNAEE, 2013)	24
Quadro 3 -	Resumo dos impactos do PNAEE 2016 por programa (PNAEE, 2013)	24
Quadro 4 -	Resumo dos parâmetros para cálculo dos custos globais	50
Quadro 5 -	Localização e Características do edifício – Caso de estudo 1	57
Quadro 6 -	Características - Paredes exteriores – Caso de estudo 1	58
Quadro 7 -	Características e Coeficiente de Transmissão Térmica - Paredes exteriores	58
Quadro 8 -	Coeficiente de Transmissão Térmica da cobertura – Caso de estudo 1	58
Quadro 9 -	Características e Coeficiente de Transmissão Térmica da cobertura – Caso de estudo 1	59
Quadro 10 -	Resistência Térmica do pavimento térreo – Caso de estudo 1	59
Quadro 11 -	Pontes Térmicas lineares – Caso de estudo 1	59
Quadro 12 -	Coeficiente de Transmissão Térmica da parede interior – Caso de estudo 1	60
Quadro 13 -	Coeficiente de Transmissão Térmica da porta exterior – Caso de estudo 1	60
Quadro 14 -	Coeficiente de Transmissão Térmica dos envidraçados – Caso de estudo 1	61
Quadro 15 -	Características do vão envidraçado – Caso de estudo 1	62
Quadro 16 -	Classe Energética e Nic, Nvc, Qa, Ntc/Nt – Caso de estudo 1	63
Quadro 17 -	Envolvente Opaca: Coeficiente de transmissão térmica.....	65
Quadro 18 -	Envolvente Transparente: Coeficiente de transmissão térmica.....	65
Quadro 19 -	Sistemas: Bomba de Calor (Aquecimento, Arrefecimento e AQS).....	66
Quadro 20 -	Sistemas: Ar condicionado (Aquecimento e/ou Arrefecimento)	66
Quadro 21 -	Sistemas: Caldeira Mural (Aquecimento e/ou AQS)	67
Quadro 22 -	Sistemas: Aquecedor Elétrico (Aquecimento)	67
Quadro 23 -	Sistemas: Esquentador (AQS)	67
Quadro 24 -	Sistemas: Termoacumulador (AQS).....	67
Quadro 25 -	Resumo das soluções selecionadas a estudar no Caso de estudo 1.....	69
Quadro 26 -	Resumo das variantes estudadas - Caso de estudo 1	70
Quadro 27 -	Características térmicas da envolvente da variante ótima (VAR70) - SOL1	74
Quadro 28 -	Resumo das variantes da SOL1 - Custos Globais e Necessidades Energéticas ..	74
Quadro 29 -	Resumo das variantes da SOL 2 - Custos Globais e Necessidades Energéticas .	79
Quadro 30 -	Características térmicas da Envolvente da variante ótima - SOL2.....	79

Quadro 31 – Resumo das variantes da SOL3 e SOL4 - Custos Globais e Necessidades Energéticas	80
Quadro 32 - Características térmicas da Envolvente da variante ótima – SOL3 e SOL4	82
Quadro 33 - Resumo das variantes da SOL5 - Custos Globais e Necessidades Energéticas ..	83
Quadro 34 – Custos Globais e Ntc da variante ótima (com e sem equipamentos de produção de energia renovável) - SOL4	85
Quadro 35 – Custos Globais e Ntc da SOL6 e da variante ótima (VAR64) com Caldeira Biomassa	86
Quadro 36 – Resumo das variantes da SOL4 e SOL5 - Custos Globais e Necessidades Energéticas	86
Quadro 37 – Resumo das variantes ótimas de todas as soluções estudadas	87
Quadro 38 – Características da Envolvente nas variantes ótimas de cada solução	88
Quadro 39 – Relação entre os valores das necessidades nominais e limite de energia útil (Ntc/Nt, Nic/Ni e Nvc/Nv)	89
Quadro 40 – Localização e Características do edifício – Caso de estudo 2	93
Quadro 41 – Coeficientes de Transmissão Térmica -Paredes exteriores, coberturas e pavimento térreo – Caso de estudo 2	95
Quadro 42 – Pontes Térmicas Lineares – Caso de estudo 2	96
Quadro 43 – Coeficiente de Transmissão Térmica - Paredes interiores – Caso de estudo 2...	96
Quadro 44 – Coeficiente Linear – Ligação entre elementos – Caso de estudo 2	97
Quadro 45 – Características e Coeficiente de Transmissão Térmica – Envidraçados – Caso de estudo 2	97
Quadro 46 – Classe Energética e Nic, Nvc, Qa, Ntc/Nt – Caso de estudo 2	99
Quadro 47 – Coeficiente de transmissão térmica - Vãos Envidraçados	102
Quadro 48 – Sistemas: Bomba de Calor (Aquecimento, Arrefecimento e AQS)	102
Quadro 49 – Sistemas: AC (Aquecimento e/ou Arrefecimento)	102
Quadro 50 – Sistemas: Caldeira Mural (Aquecimento e AQS)	103
Quadro 51 – Sistemas: Aquecedor Elétrico (Aquecimento)	103
Quadro 52 – Sistemas: Esquentador (AQS)	103
Quadro 53 – Sistemas: Termoacumulador (AQS)	103
Quadro 54 – Resumo das Soluções selecionadas no caso de estudo 2	105
Quadro 55 – Influência do isolamento da cobertura nos Custos Globais e Ntc	107
Quadro 56 – Influência do tipo de Caixilharia nos Custos Globais e Ntc	107

Quadro 57 – Influência da medida a implementar na cobertura (com ou sem solução estrutural).....	108
Quadro 58 – Resumo das variantes da SOL 1 - Custos Globais e Necessidades Energéticas	108
Quadro 59 – Influência da bomba de calor nas 5 melhores variantes da SOL1.....	110
Quadro 60 – Variantes ótimas SOL1 e SOL3 - Custos Globais e Necessidades Energéticas	110
Quadro 61 – Resumo das variantes SOL 4 - Custos Globais e Necessidades Energéticas.....	111
Quadro 62 – Características da Envolvente na variante ótima VAR 17C (SOL4)	112
Quadro 63 – Variantes ótimas SOL4 e 5 com Termoacumulador a Gás	113
Quadro 64 – Resumo das Variantes SOL 6 - Custos Globais e Necessidades Energéticas....	114
Quadro 65 – Necessidades Energéticas SOL6 e contribuição da caldeira biomassa para AQS e Aquecimento.....	114
Quadro 66 – Resumo das variantes ótimas (Custos Globais e Necessidades Energéticas) para as soluções analisadas.....	115
Quadro 67 – Características da Envolvente nas variantes ótimas de cada solução	115
Quadro 68 – Relação Custos Globais/ Ntc para a SOL4 – Caso de estudo 1 e 2	119
Quadro 69 - Características térmicas da Envolvente da variante ótima da SOL4 – Casos de estudo 1e 2	120
Quadro 70 – Relação entre os valores das necessidades nominais e limite de energia útil (Ntc/Nt, Nic/Ni e Nvc/Nv).....	121
Quadro 71 – Variantes ótimas - Bragança	125
Quadro 72 – Características térmicas da Envolvente da variante ótima - Bragança	125
Quadro 73 – Variantes ótimas - Faro	127
Quadro 74 – Comparação de 9 variantes com diferentes ângulos de obstrução horizonte (45° e 20° em Vila Nova de Gaia)	129
Quadro 75 – Comparação de três Taxas de Desconto (Perspetiva Privada).....	133
Quadro 76 – Análise do impacto da alteração da taxa de evolução do custo de energia	138
Quadro 77 - Alojamentos clássicos ocupados como residência habitual	159
Quadro 78 - Edifício segundo época de construção e estado de conservação.....	159
Quadro 79 - Apresentação de Nic, Nvc, Nac e Ntc - Vila Nova de Gaia (Caso Estudo 1)	183
Quadro 80 - Apresentação de Nic, Nvc, Nac e Ntc - Bragança (Caso Estudo 1).....	185
Quadro 81 - Apresentação de Nic, Nvc, Nac e Ntc - Faro (Caso Estudo 1)	187
Quadro 82 - Apresentação de Nic, Nvc, Nac e Ntc - Porto (Caso Estudo 2).....	189

LISTA DE ABREVIACÕES

AC – Ar condicionado

ADENE – Agência para a Energia

AICCOPN – Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AQS – Aguas quentes sanitárias

BTN – Baixa Tensão Normal

CE – Certificado de Desempenho Energético e de Qualidade do Ar Interior

CFL – Lâmpadas fluorescentes compactas

CIEG – Custos de Interesse Económico Geral

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto-Lei

COP - Coefficient of performance

EER - Energy Efficiency Ratio

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

ENE – Estratégia Nacional para a Energia

EM – Estados-Membro

EPS - Poliestireno Expandido Moldado

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

ETICS - External Thermal Insulation Composite System

GEE – Gases de efeito de estufa

ICB - Cortiça Expandida

INE – Instituto Nacional de Estatística

IRS - Imposto sobre o Rendimento de Pessoas Singulares

IVA – Imposto sobre valor acrescentado

kVa – Quilovolt ampere

kW – Quilo watt

kWh– Quilo watt x hora

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Mw – Mega watt

MW – Lã de rocha

Nac – Necessidades nominais anuais de energia útil para águas quentes sanitárias

Nic – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

Nvc – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

Ntc - Necessidades globais nominais de energia primária

Nt – Valor máximo admissível de energia primária

Ntc – Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária

NZEB – Nearly zero-energy building

PIB – Produto Interno Bruto

PIR – Poli-isocianurato

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

REHVA – Representantes de Associações Europeias de Aquecimento e Ventilação (Representatives of European Heating and Ventilating Associations)

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

tep – Tonelada equivalente de petróleo

UE – União Europeia

XPS – Poliestireno Expandido Extrudido

1. CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo refere-se ao enquadramento do tema da pesquisa, explanando o contexto a partir do qual o assunto em análise foi estudado (ponto 1.1). São também apresentados os fatores que contribuem para a oportunidade da realização desta dissertação e os seus objetivos (ponto 1.2) bem como a sua estrutura orientadora (ponto 1.3).

1.1. Enquadramento

O desequilíbrio ambiental que o nosso planeta sofre deve-se, em grande parte, ao consumo energético desenfreado e insustentável pelo Homem. O desperdício e a irracionalidade na utilização da energia produzida levam a impactos diretos e nocivos no meio ambiente, para além de custos económicos desnecessários. Em 1973, logo após a primeira crise internacional do petróleo, surgiu a expressão “uso racional da energia” (JARDIM, 2009). Houve nessa época um aumento do custo da energia, a constatação da limitação das suas fontes e, pela primeira vez, a consciência mundial do grau de impacto ambiental relativo à sua utilização.

Neste contexto difícil, a assinatura em 1997, por parte da União Europeia, do Protocolo de Quioto, veio obrigar os países membros a definirem medidas de ação que promovessem a utilização racional dos recursos energéticos e assim pudessem reduzir a emissão dos gases de efeito de estufa, GEE, para a atmosfera. Este protocolo, resumidamente, consiste num acordo internacional que impõe aos países industrializados aderentes limites nas emissões de gases que provocam o efeito de estufa. Definiu-se que os países aderentes teriam de diminuir as suas emissões numa média de 5% (tendo em conta os níveis referentes a cada um dos países), abaixo dos valores de 1990, no período entre 2008 e 2012, tentando assim desacelerar os efeitos climáticos negativos resultantes destas emissões. Além da redução das emissões de GEE, o Protocolo de Quioto estabelece outras medidas como o estímulo à substituição do uso dos derivados de petróleo pelo da energia elétrica e do gás natural. Isso levou à exploração de novas soluções de consumo energético recorrendo a fontes mais ecológicas (LUZIO, 2009).

Desde então, muitos países e também a UE, têm vindo a fomentar iniciativas, medidas e pesquisas que estimulem a eficiência energética em diferentes setores, nomeadamente no dos edifícios. Aliás, este é um dos setores que mais energia consome (e desperdiça) em todo o mundo. Na União Europeia estima-se que cerca de 40% (DGEG, 2012) da energia total seja utilizada nos edifícios, e como tal, o desempenho energético deste setor é preponderante para a concretização dos

compromissos assumidos no Protocolo de Quioto, que apesar de assinado em 1997 apenas foi retificado por um número mínimo de países em 2005.

Foi neste contexto que surgiu a Diretiva Europeia n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu, de 16 de Dezembro, sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD, 2002) que surgiu com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na UE, tendo em conta os aspetos climáticos externos e as condições locais, bem como as exigências de clima interior e a rentabilidade económica. Esta Diretiva estabeleceu: 1) uma metodologia integrada de cálculo do desempenho energético dos edifícios; 2) requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação; 3) a certificação energética dos edifícios; 4) a inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e 5) complementarmente, a avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de quinze anos (PARLAMENTO EUROPEU, 2002).

No entanto, estudos recentes levados a cabo pela REHVA relativos à implementação da EPBD 2002 revelaram grandes diferenças nos regulamentos técnicos nos diferentes países da UE. Estas diferenças têm implicações muito significativas no mercado da construção e introduzem dificuldades na produção, comercialização, instalação, dimensionamento e construção no mercado aberto da UE (SEPPÄNEN O, GOEDERS G, 2010).

Este facto e a necessidade da UE acelerar o processo de redução de emissão dos GEE e do consumo energético na União levou a que em 2010 surgisse a reformulação da EPBD 2002. A EPBD Recast (Diretiva 2010/31/EU de 19 de Maio 2010) veio reforçar os requisitos de desempenho energético dos edifícios e clarificar alguns pontos da EPBD 2002, que substituiu.

A EPBD 2010 veio reforçar o esforço da UE em cumprir os objetivos do Protocolo de Quioto, através da melhoria da eficiência energética dos edifícios e aumento do uso de energias renováveis. O desafio é alcançar o mais elevado desempenho energético nos edifícios com um custo económico apropriado, tendo em consideração o contexto climático e parâmetros relevantes de cada país (FERREIRA,J.; PINHEIRO,M., 2011). Com a implementação desta diretiva surgirão muitas alterações desde logo porque, de acordo com esta, até final de 2018, todos os edifícios públicos novos da UE terão que ser edifícios de balanço energético quase nulo (“nearly zero-energy buildings” ou NZEB) e depois de 2020 todos os edifícios novos terão que atingir também esse desempenho (PARLAMENTO EUROPEU, 2010).

A diretiva define ‘nearly zero-energy buildings’ como edifícios com elevado desempenho energético cuja baixa energia consumida será proveniente de fontes de energia renovável,

preferencialmente produzida no edifício ou nas redondezas (KURNITSKI J et al, 2011). Com a EPBD Recast os Estados-Membros devem garantir que os requisitos mínimos de desempenho energético são assegurados com níveis de rentabilidade ótimos, ou seja, com o custo mínimo considerando todo o seu ciclo de vida, utilizando para tal uma metodologia de cálculo definida pela Comissão Europeia. Pela primeira vez a Comissão Europeia definiu uma política de otimização de custos através de uma metodologia de cálculo. Essa metodologia está já publicada através de um documento orientador que permitirá aos Estados-Membros refletirem sobre os princípios para o cálculo de custo ótimo anual do desempenho do edifício, considerando os parâmetros nacionais relevantes (KURNITSKI J et al, 2011).

O documento originou em Janeiro de 2012 o Regulamento Delegado nº 244/2012 que complementa a EPBD Recast e onde se estabelece o quadro metodológico comparativo a utilizar pelos Estados-Membros para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios novos e existentes. O quadro de metodologia especifica as regras para a comparação de medidas de eficiência energética, de medidas que recorrem a fontes de energia renováveis e de conjuntos e variantes dessas medidas, com base no desempenho energético primário e no custo atribuído à sua implementação. Estabelece também a forma de aplicar essas regras aos edifícios de referência selecionados, com o objetivo de definir níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético (PARLAMENTO EUROPEU, 2010).

É claro que tanto a determinação do custo ótimo, bem como a garantia dos níveis de desempenho dos NZEB são medidas a ser conduzidas pelos Estados-Membros na adoção da EPBD Recast.

A UE prevê com a implementação da EPDB Recast e regulamentação complementar reduzir em 11% o consumo de energia final em 2020 na União (ECEE, 2010). Prevê também a criação de 2 milhões de novos postos de trabalho em toda a UE, para além de estimar uma poupança de cerca de 4 biliões de barris de petróleo por ano. Isto considerando a implementação da EPBD Recast e a intervenção em edifícios novos e em edifícios existentes (RENOVATE, 2012).

Não há na EPBD Recast de forma clara, nenhum objetivo específico a atingir respeitante ao desempenho energético dos edifícios existentes. No entanto, é recomendável que seja seguido o exemplo dos edifícios novos e os estados membros incluam medidas legislativas para que os edifícios existentes possam aproximar-se, do ponto de vista de eficiência energética dos NZEB (RENEWABLE, 2012).

Estima-se que a reabilitação profunda dos edifícios existentes na Europa possa poupar cerca de 32% do total de energia primária consumida. No entanto na Europa apenas 1,2% dos edifícios existentes

são reabilitados e 0,1% são demolidos todos os anos. Mesmo que os 1,2% de edifícios reabilitados considerassem já os mais elevados requisitos de desempenho energético europeus, a Europa não iria conseguir atingir o objetivo de redução do seu consumo energético. Aliás, essa medida por si só quase não iria influenciar o consumo energético nos edifícios existentes (RENOVATE, 2012). Esta ideia é reforçada também pelo relatório relativo à implementação da EPBD 2002 em Portugal (EPBD – CA, 2011) em que se afirma que o setor dos edifícios continuará ineficiente caso não se intervenha nos edifícios existentes portugueses.

A UE e os governos dos EM devem direcionar as suas políticas no sentido de fomentar a reabilitação promovendo uma política energética ambiciosa e, em simultâneo, o crescimento económico.

Portugal enquanto Estado-Membro tem vindo a transpor para o direito nacional a regulamentação europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios novos e existentes. Com a EPBD 2002 foi impulsionado a rever a legislação nacional definindo as condições de conforto térmico e de higiene, com o objetivo de melhorar a eficiência global dos edifícios, não só nos consumos para a aquecimento/arrefecimento, mas em todos os consumos energéticos, fomentando a limitação real desses consumos para valores aceitáveis. Foi, por transposição da EPBD 2002, implementado por Decreto de Lei, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) que levou à criação do Certificado de Desempenho Energético e de Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (CE).

O SCE pretende assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, garantindo o cumprimento do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Pretende também certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios e identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado (LUZIO, 2009).

O SCE em conjunto com os regulamentos técnicos (RCCTE e RSECE) aplicáveis aos edifícios de habitação e aos edifícios de serviços define as regras e métodos para verificação da aplicação efetiva destes regulamentos às novas edificações, bem como, numa fase posterior aos edifícios existentes.

Assim, o Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, que aprova o SCE, tem por objetivos:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às questões de eficiência energética, à utilização de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia de qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios através da emissão de um CE que será atribuído após a verificação por PQ (independentes à elaboração do projeto) e rotular em classe de desempenho energético os edifícios, variando de A+ (elevada eficiência) a G (baixa eficiência);
- Identificar as medidas de correção, ou de melhoria, de desempenho a aplicar aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, cada qual associada a um custo de realização aproximado e uma estimativa de retorno de investimento;
- Identificar, para além da classificação de desempenho energético, o nível de emissões de CO₂ equivalente; (SCE, 2006)

O Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, que aprova o RSECE, e que veio substituir o DL 119/98, estabelece:

- As condições a observar no projeto de novos sistemas de climatização, nomeadamente os requisitos de conforto térmico, renovação, tratamento e qualidade do ar, devendo assegurar em condições de eficiência energética através da seleção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas;
- Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes e para todo o edifício, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo presente Regulamento, bem como os limites máximos de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
- Os termos de conceção, de instalação e do abastecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas implementados, para a garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal, incluindo os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os principais intervenientes e a observância dos princípios da utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na ótica da sustentabilidade ambiental;

- As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior. (RSECE, 2006)

Note-se que o RSECE, não se aplica a edifícios de habitação ou serviços sem sistemas de climatização centralizada, aplicando-se nesse caso o RCCTE.

O Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, que aprova o RCCTE, e que substituiu o DL 40/90, indica as regras a observar no projeto de todos os edifícios de habitação e serviços sem sistemas de climatização centralizados para que:

- As necessidades energéticas de um edifício possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia (considerando as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento do espaço, a necessidade de energia para a produção das AQS e as necessidades de energia primária, para equipamentos e iluminação;
- A obrigatoriedade da instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária;
- Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais e dos elementos da envolvente do edifício, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

O RCCTE aplica-se a: edifícios de habitação; edifícios de serviços com área útil inferior ou igual a 1000 m² e sem sistemas mecânicos de climatização ou com sistemas de climatização de potência inferior ou igual a 25 kW; grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de AQS das duas tipologias de edifícios referidas anteriormente e a ampliações de edifícios existentes, das duas tipologias atrás referidas, exclusivamente na nova área construída.

Neste contexto, o RCCTE impõe limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de energia primária. Esta legislação impõe ainda a instalação de painéis solares térmicos e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável (RCCTE, 2006).

A aplicabilidade do RCCTE em edifícios existentes levanta muitas questões de carácter técnico que vieram a ser explanadas e simplificadas por um documento emitido pela ADENE (Agência para a Energia) direccionado aos edifícios existentes. A 30 de Abril de 2009 foi definido em Despacho n.º 11020/2009, o Método de Cálculo Simplificado para Certificação Energética de Edifícios Existentes

no âmbito do RCCTE, formalizando assim a Nota Técnica NT-SCE-01. Esta metodologia permite não só uma análise expedita dos edifícios para os quais não exista informação disponível, bem como a aplicação integral do cálculo regulamentar (ADENE, NT-SCE-01, 2009).

A ADENE é a entidade nacional responsável pela gestão do SCE tendo como objetivo principal assegurar o funcionamento regular do sistema. A ADENE é também responsável por criar uma bolsa de peritos qualificados (PQ) que deverão ser responsáveis pela avaliação do desempenho energético e da qualidade do ar interior nos edifícios e emissão do respetivo certificado energético (CE). O CE é um documento de extrema importância pois permite, identificar a classe energética do edifício, novo ou existente, e como tal aferir da sua eficiência energética para além de apresentar medidas de melhoria a implementar para melhorar o desempenho do edifício em análise.

Toda a legislação atrás referida teve como base a transposição para o direito nacional da EPBD 2002, no entanto a 20 de Agosto de 2013* foi transposta para o direito nacional a EPBD Recast que de origem ao DL n.º. 118/2013.

Este DL aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Neste atual contexto legislativo o REH vem revogar o RCCTE e o RECS o RSECE.

1.2. Objetivos e fatores que contribuem para a oportunidade da realização da dissertação

Após o exposto é importante sintetizar os fatores que contribuem para a oportunidade da realização desta dissertação, assim:

- Tal como muitos outros países da UE o parque habitacional nacional é muito heterogéneo, pouco conhecido e, em muitos casos, sem informação técnica (projeto) suficiente para se caracterizar. Não há um conhecimento profundo dos edifícios existentes nem uma uniformização dos mesmos, por forma a definir estratégias, normas ou legislação para se atingirem ou aproximarem os edifícios existentes dos requisitos da EPBD Recast para edifícios novos. Por outro lado, pela especificidade dos edifícios existentes e todos os seus condicionalismos arquitetónicos, não é possível abordar o

* A 20 de Agosto de 2013 foi publicado em Diário da República o DL n.º.118/2013 que transpõem para o direito nacional a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010. Esta dissertação foi elaborada tendo em consideração a legislação anterior.

problema da eficiência energética e otimização de custos da mesma perspetiva que nos edifícios novos em que é possível controlar através de projeto quase todas as variáveis.

- O parque habitacional existente em Portugal é muito pouco eficiente, confortável e salubre. Isto implica elevados consumos energéticos e faturas para os utilizadores e para o país bastante significativas;
- A regulamentação europeia, a qual está neste momento a ser transposta para o direito nacional, tende a elevar os requisitos de desempenho energético dos edifícios novos e existentes, de forma direta ou indireta, para patamares de balanço energético quase nulo, o que implica uma intervenção inevitável nos edifícios existentes;
- A regulamentação impõe requisitos mínimos de desempenho energético com custos de intervenção mínimos (o cálculo destes custos está aliás regulado), pelo que é necessário quantificar esses custos para as soluções com pertinência e eficiência no contexto nacional;
- Os incentivos fiscais e financeiros implementados por instrumentos legais nacionais incentivam a reabilitação, como tal devem ser utilizados no sentido de dinamizar o sector;
- O contexto socioeconómico atual leva à procura de alternativas de empregabilidade que podem ser encontradas na reabilitação energética, contudo é necessária a existência de conhecimento técnico por forma a garantir a qualidade das intervenções.

Este trabalho tentará acrescentar conhecimento sobre o comportamento energético do parque residencial edificado em Portugal, numa perspetiva de identificar soluções ótimas de reabilitação energética com custos mínimos. Encontrar as soluções ótimas do ponto de vista custo/benefício para determinado tipo de edifícios permitirá informar o setor, e todos os seus agentes, de como atuar numa intervenção de reabilitação energética e assim contribuir para uma otimização da intervenção numa perspetiva de médio/longo prazo.

Este é um desafio urgente a que Portugal e todos os estados membros têm que dar resposta. O desenvolvimento deste trabalho poderá contribuir positivamente para a superação desse desafio.

O objetivo global desta Dissertação consiste em identificar conjuntos de soluções de reabilitação ótimas do ponto de vista do binómio custo/benefício, a aplicar em dois edifícios habitacionais (um unifamiliar e outro multifamiliar) datados entre 1960 e 1980.

Podem apontar-se como objetivos específicos os seguintes:

- Identificar dois edifícios residenciais tipo do parque edificado em Portugal;

Com esta representação construtiva do parque edificado será possível definir, conhecer e propor ações de intervenção na melhoria do desempenho energético de edifícios com características semelhantes.

- Identificar soluções de reabilitação em três vertentes diferentes: atuando na envolvente, atuando nos sistemas/equipamentos e avaliando a possibilidade de produção de energia renovável “in situ”;

Deverão ser identificadas soluções que sejam exequíveis em Portugal e que sejam economicamente viáveis e moderadamente conhecidas pelos atores do mercado (construtores, aplicadores, engenheiros e arquitetos).

- Quantificar o custo global das soluções de reabilitação identificadas;

Soluções que coloquem em causa, por motivos económicos ou de execução, a intervenção de reabilitação, não deverão ser equacionadas.

- Otimizar as combinações de soluções de reabilitação por forma a garantir edifícios com relações custo/benefício ótimas;

Esta dissertação irá focar-se nas soluções mais comuns e economicamente viáveis de modo a limitar o elevado número de simulações que seria possível efetuar.

- Concluir sobre quais as soluções energéticas e economicamente mais vantajosas a utilizar na reabilitação de edifícios de habitação (1960 - 1980) em Portugal.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por seis capítulos.

O primeiro capítulo evidencia o atual contexto nacional e internacional relativamente às exigências ambientais e energéticas do sector da construção, nomeadamente dos edifícios, na Europa. Exprime a oportunidade do desenvolvimento desta dissertação e faz referência aos objetivos da mesma, bem como à sua organização.

O capítulo dois refere-se ao contexto nacional em particular ao desempenho energético do parque edificado do ponto de vista construtivo, social, económico e energético. Identifica algumas medidas de reabilitação energética (em três vertentes distintas) em edifícios existentes e aponta algumas

dificuldades nessa intervenção. Faz ainda referência a políticas de incentivo à eficiência energética e reabilitação de edifícios.

O capítulo terceiro expõe a metodologia utilizada na realização da dissertação, explicando alguns conceitos da regulamentação europeia e nacional utilizada e a necessidade da aplicação desta a dois casos de estudo. Indica ainda algumas medidas de reabilitação energética típicas em Portugal e justifica o tipo de edifícios selecionados para os casos de estudo.

Os capítulos quatro e cinco apresentam a metodologia aplicada a dois casos de estudo reais e uma análise cuidada dos resultados obtidos. Nestes capítulos são retiradas algumas conclusões sobre as medidas de reabilitação energética mais interessantes do ponto de vista custo/benefício para cada caso e apresentadas algumas conclusões comparativas. Ainda no capítulo cinco são avaliados quatro cenários por forma a concluir sobre a influência de alguns parâmetros do cálculo nos resultados obtidos.

No último capítulo, (capítulo 6) desta dissertação são apresentadas as conclusões mais relevantes deste estudo e ainda apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos a realizar no contexto da reabilitação energética em edifícios de habitação em Portugal.

2. CAPÍTULO 2 - A REALIDADE DO SETOR DOS EDIFÍCIOS EM PORTUGAL E SEU DESEMPENHO ENERGÉTICO

As imposições regulamentares da UE e o contexto social, ambiental e energético já referidos no capítulo 1 levam Portugal a refletir sobre a realidade do seu parque edificado e o desempenho deste.

A realidade do setor da construção em Portugal pode ser analisada sob quatro prismas: construtivo, social, económico e energético.

Do ponto de vista construtivo o parque edificado em Portugal está estimado em 5,9 milhões de alojamentos familiares (segundo dados provisórios dos CENSOS 2011) que se distribuem por cerca de 3,5 milhões de edifícios e representam um consumo energético muito significativo. Estima-se que 31% da energia final utilizada em Portugal seja consumida pelo setor dos edifícios, sendo 18% utilizada pelos edifícios habitacionais existentes (JARDIM, 2009). De referir que 87,2% dos edifícios residenciais são unifamiliares (SANTOS, 2012). Apenas pela observação destes valores se conclui que existe uma enorme quantidade de edifícios habitacionais muito consumidores de energia e nos quais é pertinente intervir.

Segundo o INE cerca de 38,7% (INE, 2011) do património edificado é anterior à década de 70 e apresenta sinais de degradação, quer construtiva, quer, em alguns casos até estrutural, nomeadamente por falta de intervenções de manutenção (MARTINS, 2009). Em 2007, apenas 19,5% das obras concluídas em Portugal eram obras de alteração, ampliação e reconstrução, o que mostra uma expressão muito menor da reabilitação física do edificado relativamente às novas construções (INE DESTAQUE, 2009). Estudos demonstram que a atividade de reabilitação do edificado está relacionada com a evolução da população residente e com o dinamismo do mercado dos edifícios urbanos. Curiosamente, entre 2001 e 2007 a reabilitação assumiu maior importância em territórios com perda de população e onde se verificou menor dinamismo do mercado dos edifícios urbanos (regiões do Interior Centro e Alentejo) (INE DESTAQUE, 2009). No entanto, é nas Áreas Metropolitanas de Lisboa e Porto que a idade do edificado é maior e o índice de envelhecimento é de 1,98 (INE, 2011). Já a nível nacional o índice de envelhecimento dos edifícios é de 1,90 (número de edifícios construídos até 1960 é menos do dobro dos construídos após 2001). É também nestas regiões que a densidade de alojamentos é maior demonstrando a maior densidade populacional, e apesar do número de alojamentos ter aumentado cerca de 16,2% na última década, o número de alojamentos vagos também aumentou cerca de 35% (INE DESTAQUE, 2009). Aliás este aumento verificou-se, quer nos alojamentos principais (12,5%), quer nas residências

secundárias (19,3%) (SANTOS, 2012). O facto de os alojamentos não serem ocupados aumenta o risco de degradação e falta de manutenção contribuindo para uma eventual intervenção de reabilitação mais célere. Também não é indiferente o alojamento ser utilizado pelo proprietário ou ser alugado, visto este fator poder ter influência na manutenção do alojamento/edifício. A nível nacional os alojamentos de residência habitual (68,2%) são em 73,5% dos casos ocupados pelo proprietário e cerca de 19,7% são arrendados, aliás o parque habitacional arrendado cresceu 6,3% em relação a 2001 (SANTOS, 2012).

Um fator social relevante é o fato de 53,8% dos arrendatários terem idades iguais ou superiores a 50 anos, sendo destes cerca de 37% com 60 ou mais anos de idade (SANTOS, 2012). Aliás 60% da população idosa vive só ou em companhia exclusiva de pessoas também idosas (verificou-se um aumento de 28%, ao longo da última década) e 20% do total de alojamentos familiares são habitados exclusivamente por pessoas idosas (acréscimo de 28,3% nos últimos dez anos). Este envelhecimento populacional não influencia apenas o setor do arrendamento, mas todo o setor da construção/reabilitação contribuindo para a degradação dos edifícios.

Ainda na perspetiva social verifica-se um aumento das famílias de menor dimensão (1 ou 2 pessoas) o que muitas vezes está interligado com o seu baixo rendimento líquido (em 2009 rodava os 23 811€ por agregado/ano). A principal fonte de rendimento das famílias tem origem no trabalho por conta de outrem 52,1% e nas pensões 35,1%, existindo um risco de pobreza da população nacional de 17,3%. Este frágil panorama económico também está refletido pelo fato de quase 40% das famílias estarem endividadas, sendo que cerca de 25% têm hipotecas sobre a sua residência principal. Este contexto social e económico é inibidor do crescimento do setor da construção e reabilitação.

Para além da degradação física e estrutural das construções, consequência de muitos fatores, nomeadamente dos inumerados anteriormente, o edificado apresenta também um muito fraco desempenho térmico, baixos níveis de conforto e salubridade e elevados consumos energéticos. Este fraco desempenho deve-se à baixa qualidade construtiva, às fracas exigências regulamentares à altura da construção, à ineficiência dos equipamentos (eletrodomésticos, iluminação e outros) e muitas vezes é agravado pela má utilização do edifício. Refira-se que em termos de consumo energético, em 2010 os edifícios residenciais representaram 17,7% do consumo da energia final e os edifícios de serviços 12,0%. O consumo médio mensal (2010) de eletricidade e de gás natural, por alojamento, foi de cerca de 306 kWh e 65 kWh, sendo a despesa média mensal com energia, por alojamento, de 70€ (SANTOS, 2012). Este valor médio é um valor elevado tendo em conta o

contexto atrás identificado, mas a população não tem, em geral, poder económico para intervir na sua habitação.

Neste contexto refira-se que até à década de 90 (antes do primeiro RCCTE - DL nº 40/90 de 6 de Fevereiro) não havia em Portugal imposição legal para construir com preocupações de eficiência energética, ou térmicas ou de conforto (PINTO, 2007). Aliás, antes da entrada em vigor do DL nº 40/90 os projetistas utilizavam apenas algumas regras qualitativas para “dimensionar” o edifício do ponto de vista térmico e não havia sequer uma especialidade de projeto direcionada para esta exigência.

Assim, as construções anteriores à década de 90, cerca de 70% (INE, 2011) do parque edificado, não cumprem as exigências de hoje, não só do ponto de vista regulamentar, mas também do ponto de vista do conforto, salubridade e saúde do utilizador. Verifica-se que o utilizador dos edifícios de hoje, com o aumento da qualidade do nível de vida, tornou-se mais exigente no que diz respeito ao seu conforto o que tem levado a um aumento na procura dos sistemas de climatização. Estes sistemas permitem combater o desconforto, nomeadamente o térmico, mas consequentemente aumentam o consumo energético dos edifícios existentes. Grandes consumos nestes edifícios aumentam o consumo energético nacional e a dependência energética Portuguesa, e vão contra todas as exigências da UE.

As alterações comportamentais dos utilizadores, a degradação do parque edificado, muitas vezes por falta de manutenção, o fraco desempenho energético dos edifícios e as imposições legais levam a concluir que a promoção da eficiência energética nos edifícios não se pode limitar aos edifícios em construção ou a construir, mas também aos edifícios existentes.

Nesse sentido a ADENE, como responsável pela gestão do SCE, tem vindo a reunir dados muito úteis, através da análise da informação contida nos CE, relativamente às características energéticas dos edifícios sujeitos a avaliação pelos PQ.

Desde a entrada em vigor, a 1 de Julho 2007, do DL 78/2006 de 4 Abril (que obriga à certificação energética de edifícios novos, grandes edifícios de serviços, edifícios existentes de serviço e habitação quando sujeitos a uma transação comercial) encontram-se no SCE, 485.000 imóveis certificados (até 30 Março 2012) dos quais 90% são edifícios de habitação. Dos imóveis certificados, 76% são relativos ao parque edificado existente, 21% a imóveis que se encontram em fase de projeto e 3% a edifícios novos no âmbito do SCE (ADENE, 2012). Os Certificados de Desempenho Energético e de Qualidade do Ar Interior para além de classificarem os edifícios em

classes energéticas variando de A+ (elevada eficiência) a G (baixa eficiência), fornecem informações essenciais sobre o desempenho dos edifícios (RCCTE, 2006).

Segundo a Agência para a Energia, 63% dos edifícios existentes certificados desde o início de 2009, data a partir da qual foi obrigatória a certificação energética em edifícios existentes (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2007), pertencem a classes energéticas abaixo de B- (ou seja são edifícios que consomem mais 100% comparativamente com o consumo de referência). Note-se, que se as medidas de melhoria sugeridas pelos PQ fossem implementadas, 84% dos edifícios existentes avaliados e certificados passariam a ter o desempenho exigido aos edifícios novos (classe energética superior a B-) (MARQUES, 2008).

A informação contida nos Certificados Energéticos também permite caracterizar os consumos globais, no que diz respeito à utilização final de energia. Assim, nos edifícios residenciais os consumos médios de: cozinhas e aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) atingem 50%, o aquecimento e arrefecimento 25% e a iluminação e equipamentos 25% (ANASTÁCIO, 2010).

Esta informação estatística, bem como outras retiradas dos CE, permite conhecer mais profundamente o parque habitacional existente, bem como as zonas/áreas dos edifícios mais consumidoras de energia e mais ineficientes. A análise dos quase 332.000 certificados energéticos relativos aos edifícios habitacionais existentes é fundamental para o conhecimento mais profundo destes edifícios, para definir novas possíveis abordagens e até eventuais desenvolvimentos regulamentares. Permite ainda desenvolver medidas de intervenção mais adequadas e direcionadas às características dos edifícios.

2.1. Reabilitação Energética

2.1.1. Medidas

O conhecimento técnico atual já identifica e aponta medidas que permitem reduzir os consumos energéticos, otimizar balanços energéticos e melhorar de forma muito significativa as condições de conforto e salubridade dos utilizadores. Contudo, existem alguns fatores que contribuem para o desempenho energético dos edifícios e que nos edifícios existentes muitas vezes não são possíveis de alterar, como o fator de forma, a orientação ou a zona climática.

A intervenção no edifício recorrendo a estas medidas designa-se por reabilitação energética e engloba medidas de três grandes grupos: medidas a aplicar na envolvente dos edifícios; nos equipamentos, sistemas de climatização e aquecimento de águas quentes sanitárias e na produção de energia renovável.

As intervenções na envolvente têm como objetivo essencial minimizar as trocas energéticas entre o espaço interior aquecido e o exterior. Podem ocorrer implementando medidas ao nível do reforço da proteção térmica da envolvente (opaca e transparente), do controlo das infiltrações de ar e do recurso a tecnologias solares passivas (sombreamentos, palas, ventilação natural ou melhoria da iluminação natural).

O reforço da proteção térmica pode ocorrer através do acréscimo do isolamento térmico dos elementos da envolvente opaca, nomeadamente, paredes exteriores, pavimentos sobre espaços exteriores ou não-aquecidos e coberturas. Pode ocorrer também controlando os ganhos solares através dos vãos envidraçados. Os vãos envidraçados têm uma contribuição importante no balanço térmico global dos edifícios, e podem ser responsáveis no Inverno por cerca de 35 a 40% das perdas térmicas totais (em edifícios residenciais) e no Verão, por problemas de sobreaquecimento interior e por grande parte das necessidades de arrefecimento (PORTO SRU, 2010). Englobam-se nos vãos envidraçados, não só as caixilharias, mas também o vidro, cujas características são também muito importantes na otimização e controlo de ganhos solares pela envolvente transparente. O controlo das infiltrações de ar pode garantir-se através da reabilitação ou substituição da caixilharia exterior, bem como de outras medidas complementares, como por exemplo o reforço da vedação de portas exteriores. Pode ainda intervir-se na envolvente recorrendo a proteções solares adequadas por forma a otimizar os ganhos em relação às necessidades de aquecimento e de arrefecimento (Inverno e Verão, respetivamente).

Relativamente à ventilação, esta pode ocorrer de forma natural (envolvente) e/ou mecânica (equipamentos) e pode ter um peso importante nas necessidades de energia de aquecimento (Inverno). Aliás, a renovação de ar no interior nos edifícios pode ser responsável por 30% a 50% do total das necessidades energéticas de aquecimento, o que leva à necessidade de minimizar caudais. Contudo, deve assegurar-se a qualidade do ar interior, bem como a diminuição do risco de condensações, o que impõe um caudal mínimo (PORTO SRU, 2010). Este equilíbrio é por vezes difícil de encontrar, mas permite atingir a solução ideal, otimizando a relação conforto-saúde do utilizador.

As tecnologias solares passivas podem ser integradas nos vãos envidraçados por exemplo aumentando (se possível) a área dos vãos envidraçados nas fachadas viradas a Sul, ou recorrendo à implementação de espaços tipo “estufa” ou “solário” ligados a envidraçados pré-existentes, aumentando desta forma os ganhos solares no Inverno. Nestes casos é necessário considerar uma adequada proteção durante a estação de arrefecimento, pois pode correr-se o risco de sobreaquecimento.

Outros fatores importantes no desempenho energético de um edifício devem ser considerados, nomeadamente na fase de projeto de reabilitação, tais como: a otimização da iluminação natural, nomeadamente com a utilização de cores claras nos tetos e paredes; a localização, dimensão e utilização adequada das aberturas favorecendo a ventilação natural; o recurso a medidas solares passivas como a criação de sistemas de arrefecimento evaporativo (colocação de plantas, arbustos ou árvores junto à envolvente do edifício), a criação de espelhos de água ou fontes com repuxo junto das fachadas ou criação de aberturas na cobertura por cima da caixa de escadas (efeito chaminé).

As medidas de eficiência energética, do ponto de vista da análise custo/benefício, mais favoráveis são, em geral, as que incidem nas coberturas, seguidas das que se referem aos pavimentos sobre espaços exteriores e, finalmente, as respeitantes às paredes exteriores (DGGE / IP-3E, 2004).

Estudos indicam que pequenas intervenções otimizando a envolvente poderiam diminuir o consumo energético dos edifícios em 30% a 35% (ANASTÁCIO, 2010).

Outro grupo onde pode ser possível intervir relaciona-se com os sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento do edifício e AQS e sua eficiência, bem como de equipamentos de uso doméstico (como eletrodomésticos, iluminação, etc.). A otimização da eficiência destes sistemas permite reduzir as perdas e consumos energéticos. Os sistemas de AQS são muito representativos nos consumos energéticos dos edifícios habitacionais (cerca de 50% segundo ANASTÁCIO, 2010) e devem ser escolhidos, numa reabilitação, considerando diversos fatores como o número de utilizadores do sistema (a dimensão do agregado familiar e os seus hábitos influenciam a dimensão e o tipo de sistema a escolher), o custo de aquisição, operação e de manutenção, a vida útil estimada ou o espaço disponível para implantar os sistemas. De referir que sistemas mais económicos são geralmente menos eficientes. Para um agregado familiar médio ou de grandes dimensões o sistema de aquecimento de água mais apropriado quer económica, quer ambientalmente, é o solar, desde que a localização garanta a insolação solar suficiente (DINIS, 2010).

Os equipamentos de uso doméstico (elétricos) são outro grande grupo consumidor de energia, sendo de facto os equipamentos de frio, como o frigorífico e o frigorífico/combinado, responsáveis por cerca de 32% do consumo total de energia elétrica no setor doméstico (ADENE, 2004). Aliás, segundo um estudo da ADENE (ADENE, 2004) 28% da energia consumida no setor residencial tem como fonte a eletricidade e este consumo representa 60% da fatura energética dos utilizadores.

Com o objetivo de informar os consumidores sobre os desempenhos energéticos dos eletrodomésticos, em termos de consumo de eletricidade, a Comissão Europeia criou a etiquetagem

energética de equipamentos domésticos. A etiquetagem energética está consagrada na Diretiva Quadro Europeia (92/75/CEE) e nas subsequentes diretivas para cada família de equipamentos e é baseada em categorias pré-definidas de A (melhor índice de eficiência energética) a G (pior índice), sendo de afixação obrigatória em todos os equipamentos abrangidos, desde que expostos ao público.

A iluminação representa um consumo médio anual de eletricidade por unidade de alojamento de cerca de 370 kWh, ou seja 12% do consumo de eletricidade no setor residencial. Contudo, este é um uso com grande potencial de poupança de energia, não apenas pelo uso de equipamentos mais eficientes, como também pela utilização da iluminação natural (tecnologia passiva) (ADENE, 2004). Refira-se que os consumos energéticos dos equipamentos no setor residencial dependem, para além da eficiência energética, também da sua idade, do modo de utilização e do estado de manutenção.

Finalmente, a utilização de tecnologia solar ativa é concebida através da implementação de fontes de energia renováveis. Existem diversas fontes de energia renovável (eólica, solar - térmica e fotovoltaica - energia hidroelétrica, energia das marés, geotérmica e biomassa) e são uma alternativa fundamental aos combustíveis fósseis, bem como a sua utilização contribui para reduzir as emissões de GEE.

Para a produção doméstica de energia elétrica e de calor a partir de fontes renováveis, podem utilizar-se os seguintes sistemas: 1) Painel solar térmico, dispositivo que converte a energia solar em energia térmica e o seu funcionamento permite: produção de AQS; aquecimento de piscinas; aquecimento ambiente e arrefecimento ambiente (combinando energia solar com máquinas de absorção ou sistemas híbridos). Em edifícios de habitação os painéis solares ou coletores solares podem reduzir até 70 a 80% o consumo de energia convencional (eletricidade, gás natural, gás propano, etc.) para o aquecimento de água (ENERGIASRENOVAVEIS, 2012). 2) Painel solar fotovoltaico, sistema que permite converter a energia solar diretamente em energia elétrica e que pode estar ligado à rede elétrica nacional. Esta forma de energia é bastante promissora visto produzir energia não introduzindo agentes poluidores, ter uma reduzida manutenção e um elevado tempo de vida (ENERGIASRENOVAVEIS, 2012).

Estes sistemas têm um grande potencial de crescimento em Portugal devido ao índice de radiação solar ser bastante elevado (um dos maiores da Europa). Comparativamente, Portugal possui um número médio anual de horas de Sol muito superior ao de outros países da UE. Portugal possui um número médio anual de horas de Sol que varia entre 2.200 e 3.000h já esse valor na Alemanha varia entre 1.200 e 1.700 h (ENERGIASRENOVAVEIS, 2012).

Existem outros sistemas para produção doméstica de energia elétrica e de calor, nomeadamente, microturbinas eólicas, micro-hidrogeradores, sistemas de aquecimento a biomassa e bombas de calor geotérmico, contudo os dois acima referidos são os mais implementados em Portugal.

Conclui-se que o recurso a energias renováveis, nomeadamente a solar, permite uma redução da dependência energética externa do edifício.

Todas as medidas atrás descritas constituem possíveis ações de melhoria da eficiência energética dos edifícios. A aplicação destas e outras medidas atuando individualmente ou em conjunto em edifícios existentes é uma forma de reduzir e racionalizar consumos energéticos. Analisando as medidas do ponto de vista custo/benefício poderão encontrar-se as mais vantajosas a implementar num parque habitacional como o nacional, muito heterogéneo.

No entanto a análise não pode, nem deve, ser apenas económica e deverá incluir também as vertentes arquitetónicas, social e ambiental.

2.1.2. Dificuldades

O comportamento humano e a forma como se utilizam os edifícios influenciam determinantemente o seu consumo energético. Os utilizadores, e a sociedade em geral, ainda não têm consciência das consequências ambientais do consumo ineficiente dos edifícios, nomeadamente no que diz respeito às alterações climáticas por emissão de CO₂. A face visível dessas consequências é a fatura energética que o consumidor paga e para a qual está comprometido e diretamente sensibilizado. É necessário transformar esse custo económico num custo ambiental e essa mudança terá que ser gradual, mas urgente. A sensibilização dos utilizadores para os comportamentos mais eficientes é fundamental e ações como a otimização da ventilação natural (pela abertura de janelas na estação de arrefecimento durante o período noturno), a proteção dos vãos envidraçados com proteções exteriores (não permitindo ganhos solares excessivos durante o dia no Verão) e a adequada utilização da iluminação natural são alguns exemplos desses comportamentos.

Os utilizadores são muito sensíveis a fatores de conforto térmico e acústico, no entanto ao longo dos tempos adaptaram-se a condições de conforto que atualmente podem ser muitíssimo melhoradas com custos não muito elevados. Há hoje margem para aumentar a eficiência energética, não apenas nos novos edifícios, mas também nos já construídos, mas para tal será necessário alterar comportamentos dos utilizadores e articular ações entre as entidades e especialistas criando mecanismos de consciencialização, mobilização e atuação.

As medidas técnicas propostas para a intervenção de reabilitação são por vezes incompatíveis com algumas características e particularidades do edifício existente. Frequentemente a arquitetura impõe dificuldades de execução das medidas ótimas a implementar, quer por motivos geométricos, quer por necessidade de manutenção de materiais e soluções construtivas. Por outro lado o valor patrimonial de alguns edifícios não permite uma intervenção otimizada do ponto de vista energético, já que essa intervenção poderia contribuir para a diminuição ou até perda desse património.

Há ainda outras dificuldades inerentes à reabilitação que se prendem com a pouca compreensão por parte dos diversos intervenientes do património construído enquanto identidade e afirmação cultural. Dificuldades devido à não valorização das mais-valias sociais, económicas e até ambientais que a reabilitação pode fornecer e ainda à falta de preparação técnica e/ou disciplinar de um grande número de atores envolvidos. A reabilitação enquanto ação global no edifício e até no bairro ou quarteirão pode trazer dinamismo cultural, turístico e consequentemente económico à área urbana em causa pelo que deve ser encarada como fator de desenvolvimento social.

Por outro lado há uma inadequação do setor da construção que ainda está muito orientado para a obra nova e que não possui, de forma geral, conhecimento técnico sobre ações de reabilitação. Uma outra dificuldade é a, ainda, insuficiente investigação no que diz respeito à recolha, inventário e registo de informação do parque edificado existente.

Uma outra dificuldade ou barreira que o subsector da reabilitação sofre está relacionada com a diversidade do regime de propriedade. Os edifícios são muitas vezes divididos por proprietários e arrendatários, públicos ou privados, com situações económicas diversas e muitas vezes sem organização gestora de condomínios. Este fato impõe diferentes poderes quando há necessidade de intervir em zonas comuns dos edifícios como no caso de uma reabilitação energética (nomeadamente na envolvente e sistemas de produção de energia renovável). A concordância de todos os utilizadores não é muitas vezes atingida pelo que se torna uma dificuldade intervir. Seria relevante se os utilizadores dos edifícios encarassem a intervenção de reabilitação não como um custo mas como um investimento na melhoria da qualidade do seu edifício, sua valorização e principalmente na redução do seu consumo energético. Assim, torna-se premente que estudos comparativos de custos/benefícios sejam realizados por forma a demonstrar aos decisores as mais-valias, também económicas, da reabilitação energética.

A falta de regulamentação e a regulamentação dispersa é também um fator dissuasor, contudo devido (também) a imposições legais europeias tem vindo a melhorar. Por outro lado, existiam, até aos últimos anos, poucos incentivos por parte do Governo Português o que desencorajava o subsector

da reabilitação, felizmente e de forma gradual têm vindo a desenvolver-se instrumentos jurídicos e planos nacionais de apoio que vêm alterar este fato.

2.2. Políticas de incentivo à Eficiência Energética e Reabilitação nos Edifícios

Apesar de todo o trabalho e desenvolvimento legal já implementado, as preocupações iniciais mantêm-se; é necessário reduzir os consumos energéticos, bem como as emissões de gases com efeito de estufa e a dependência energética de Portugal.

Como já referido, Portugal possui um sistema energético muito dependente de fontes primárias de origem fóssil e apresenta uma procura energética com taxas de crescimento superiores às do crescimento do PIB.

Em 2008 estimava-se que entre 2005 e 2007, o crescimento do PIB rondaria os 1,5% em Portugal sendo que a variação de energia final rondava os -0,3%. Recuando ao início da década de noventa do século passado, o consumo de energia final cresceu em média 3,2 % ao ano, aproximadamente sete décimas acima da taxa de crescimento média do PIB registada no período (MEI, 2008).

Com esta perspetiva de evolução tornou-se necessário acentuar a exigência das políticas energéticas nacionais e intervir nos setores mais consumidores de energia.

Neste contexto o Governo Português empenhado na redução da dependência energética externa, no aumento da eficiência energética e na redução das emissões de CO₂, aprovou na Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE 2008). Contudo este plano foi revisto já em 2013, e na Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de abril foi aprovado o PNAEE para o período 2013-2016 (Estratégia para a Eficiência Energética – PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 (Estratégia para as Energias Renováveis – PNAER 2020).

A revisão do PNAEE consiste no estabelecimento de novas ações e metas para 2016, baseadas no PNAEE 2008, que integrem as medidas relativas à redução de energia primária para o horizonte de 2020, constantes na Diretiva n.º 2012/27/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro, relativa à eficiência energética.

O PNAEE 2008-2015 estabelecia como meta uma redução de consumo de energia final em 10% até 2015. Para a atingir, foram definidas 50 medidas, organizadas em 12 programas, com o objetivo de reduzir o consumo energético nas áreas de Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado e Comportamentos.

Transportes: Programas: Renove carro, Mobilidade Urbana e Sistema Eficiência Transporte.

Residencial e de Serviços: Programas: Renove Casa & Escritório, Sistema Eficiência Edifícios, Renováveis na Hora e Programa Solar

Indústria: Programa: Sistema Eficiência Indústria

Estado: Programa: E3 - Sistema Eficiência Estado

Comportamento: Programas: Programa +, Operação E, Fiscalidade Verde,

Incentivos e Financiamento: Programa: Fundo de Eficiência Energética

No Setor “Residencial e de Serviços” o programa “Renove Casa & Escritório” é um programa de incentivo à reabilitação urbana sustentável, com o objetivo de 1 em cada 15 lares possuir classificação energética otimizada (superior ou igual a B-). Este programa está baseado em quatro áreas de intervenção que visam tornar o parque de equipamentos domésticos (eletrodomésticos e iluminação) mais eficiente. São elas: substituição de equipamentos, desincentivo à aquisição de novos equipamentos ineficientes, medidas de remodelação e renovação de equipamento de escritório.

Na área da substituição de equipamentos, o “Programa Renove +” permitirá um benefício na troca de um eletrodoméstico antigo por um novo A+ ou A++ de €50 e €100, respetivamente, obrigando à entrega do eletrodoméstico antigo para reciclagem. Contemplará também cheques eficiência e crédito bonificado para substituição de equipamentos e impulsiona ainda o financiamento de programas de troca de lâmpadas, termoacumuladores e outros equipamentos.

Relativamente ao desincentivo à aquisição de novos equipamentos ineficientes será imposta uma taxa sobre as lâmpadas ineficientes, bem como a restrição na comercialização de equipamentos de classes mais baixas (frigoríficos – Classe E e inferiores, ar condicionado – COP < 2,5, balastros eletromagnéticos) e disponibilização de informação sobre “whole-life-cycle”.

No que diz respeito às medidas de remodelação será promovida a intervenção no parque de edifícios a necessitar de remodelação nomeadamente com a medida “Janela Eficiente” - incentivo à instalação de janelas eficientes (vidro duplo e estruturas com corte térmico), medida de colocação de “Isolamentos” interiores/exteriores e a medida Calor Verde - incentivo à instalação de recuperadores calor e bombas de calor (COP \geq 4). Estas medidas estão diretamente ligadas com o setor dos edifícios e podem ser utilizadas no apoio à reabilitação energética

A renovação de equipamento de escritório terá um sistema de amortizações fiscais aceleradas para aquisição de equipamentos de elevada eficiência.

O programa de “Sistema Eficiência Edifícios” tem como principal objetivo melhorar o desempenho energético dos edifícios, através da melhoria da classe energética média do parque edificado, mediante a implementação do SCE. O objetivo é o de certificar, no âmbito de novos edifícios ou remodelações, 475 mil fogos residenciais até 2015, isto é, alcançar nesse ano uma quota de 10 % do parque com classe energética B- ou superior. Ou seja 1 em cada 15 lares com classe energética eficiente B- ou superior, sendo 30% do parque superior a B- em 2015 e 50% das grandes reparações com classe energética A. Quanto aos edifícios de serviços o objetivo é o de certificar, até 2015, cerca de metade como classe energética B- ou superior.

Deverão atingir-se os 200 mil fogos/ano certificados no setor residencial e 20 mil frações/ano certificados no setor dos serviços.

Os programas “Renováveis na Hora e Programa Solar” têm como objetivo promover a substituição do consumo de energia não renovável por energia renovável através da maior facilidade de acesso a tecnologias de micro-geração e de aquecimento solar. Pretende-se também com a microprodução térmica criar um mercado sustentado de 175.000 m² de coletores solares instalados por ano o que conduzirá a um número da ordem de 1,4 milhões de m² de coletores instalados e operacionais até 2015. Ou seja que 75mil lares sejam electroprodutores (potência instalada de 165MW) e 1 em cada 15 edifícios possuir água quente solar (PNAEE, 2008).

Abaixo da alçada do Comportamento, o programa “Fiscalidade Verde” permitirá aceder a incentivos fiscais à microprodução e alinhamento progressivo da fiscalidade com o SCE (como bonificação em 10% dos benefícios associados ao crédito habitação para edifícios classe A/A+; benefícios fiscais para despesas em microprodução e solar térmico; dedução à coleta de 30% dos investimentos com o limite de €777).

No setor “Incentivos e Financiamento” são criadas com o PNAEE três medidas de incentivo à reabilitação sustentável: a medida “Janela Eficiente”, medida “Isolamento Térmico” e a medida “Calor Verde”. As medidas identificadas serão englobadas em dois sistemas de incentivo a regulamentar: o “Crédito Eficiência” e o “Cheque Eficiência”, como já referido sucintamente acima. O incentivo “Crédito Eficiência” consiste em várias medidas: crédito pessoal bonificado para financiamento de medidas de eficiência energética, que preveja a redução até 50 % da taxa de crédito ao consumo a praticar pelas instituições de crédito; acordo com entidades financeiras de crédito para bonificação de linhas de crédito no valor de €250M/ano para investimentos em eficiência energética (enfoque reabilitação urbana).

O incentivo “Cheque Eficiência” consiste num prémio em formato de cheque eficiência a atribuir aos consumidores domésticos de baixa tensão, que apresentem, em dois anos consecutivos, reduções efetivas de consumo de eletricidade. O cheque eficiência será equivalente a, 10% ou 20% dos gastos em eletricidade durante dois anos em caso de redução verificada de 10% ou 20% do consumo de eletricidade.

O plano previa, através destas medidas, alcançar em 2015 uma poupança energética de cerca de 10% superando assim, em cerca de 20 %, a meta definida na Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, que estabelece uma melhoria de 1% ao ano até 2015, ou seja, 8 % para o período acumulado 2008-2015.

No entanto a ENE 2020, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril, veio, posteriormente, definir uma meta de redução de consumo da energia final de 20% até 2020. Mas foi definida uma meta ainda mais ambiciosa, correspondente a uma redução de consumo da energia primária em 25% até 2020. A análise do impacto (atual e potencial) estimado das medidas previstas no PNAEE 2008 foi efetuada, tendo em vista individualizar adequadamente o impacto direto de cada medida e tidas em conta economias já geradas até ao ano de 2010 (Quadro 1). Tendo em conta que a nova meta em 2016 é de 1.501.305 tep, a implementação do PNAEE de 2008 permitiu atingir, em termos acumulados até 2010, 49% do objetivo (PNAEE, 2013).

Quadro 1 - Resumo das poupanças totais alcançadas com o PNAEE

Área	Energia poupada (tep)	Meta 2016 (tep)	Execução em relação a meta de 2016
Transportes	252.959	1.501.305	49%
Residencial e Serviços	267.008		
Indústria	177.895		
Estado	9.902		
Comportamentos	21.313		
Total PNAEE	729.077		

(Fonte: PNAEE, 2013)

Segundo o Relatório de Execução do PNAEE (PNAEE, 2011), até 2010, a execução das medidas decorreu bem e mantendo-se o ritmo de implementação ultrapassar-se-iam os objetivos propostos para 2015. Aliás, o “Setor Residencial e de Serviços” era o que apresentava maior taxa de execução, superior a 37%, sendo dentro do setor o programa “Sistema Eficiência Edifícios” o que tinha uma maior poupança, 81 milhares tep (cerca de 42% da meta definida a atingir em 2015). Estas

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

poupanças contabilizam reduções de consumo energético de cerca de 267.008 tep, entre 2008 e 2010, o que permitiu atingir, em termos acumulados, 42% do objetivo previsto para o “Setor Residencial e de Serviços” (PNAEE, 2013).

Tendo por base as áreas, programas e medidas do PNAEE 2008, o PNAEE 2016 passa a abranger seis áreas específicas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura. Estas áreas agregam um total de 10 programas, que integram um leque de medidas de melhoria da eficiência energética, orientadas para a procura energética e que, de uma forma quantificável e monitorizável, visam alcançar os objetivos propostos (Quadro 2).

Quadro 2 - Área e programas do PNAEE 2016 (PNAEE, 2013)

ÁREAS						
Transportes		Residencial e Serviços	Indústria	Estado	Comportamentos	Agricultura
PROGRAMAS	Eco Carro	Renove Casa & Escritório	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia	Eficiência Energética no Estado	Comunicar Eficiência Energética	Eficiência no setor Agrário.
	Mobilidade Urbana	Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios				
	Sistema de Eficiência Energética nos Transportes	Solar Térmico				

O PNAEE 2016 prevê uma poupança induzida de 8,2%, próxima da meta indicativa definida pela União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016, com os contributos na redução dos consumos energéticos distribuídos pelos vários setores de atividade, como se pode ver no Quadro 3.

Quadro 3 - Resumo dos impactos do PNAEE 2016 por programa (PNAEE, 2013)

Programa	Potenciais Economias (tep)	%	Meta 2016 (tep)
Transportes	344.038	23%	1.501.305
Residencial e Serviços	634.265	42%	
Indústria	365.309	24%	
Estado	106.380	7%	
Comportamentos	21.313	1%	
Agricultura	30.000	2%	

A área do Residencial e Serviços (Renove Casa e Escritório, Sistema de Eficiência Energética em Edifícios e Integração de Fontes de Energia Renováveis Térmicas/Solar Térmico) é uma área muito sensível para o sucesso da implementação do PNAEE 2016, uma vez que representou, em 2011,

cerca de 28% do consumo de energia final em Portugal, da qual 16,6% no setor Residencial e 11,4% no setor dos Serviços.

Tanto o PNAEE como o PNAER são instrumentos de planeamento energético que estabelecem o modo de alcançar as metas e os compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

Tendo já em conta os efeitos estimados da implementação das medidas constantes do PNAEE 2016, o PNAER 2020 é definido em função do cenário atual tendo por objetivo principal rever o peso relativo de cada uma das fontes de energia renovável no mix energético nacional e respetivas metas de incorporação a atingir em 2020 com respeito pelos compromissos assumidos por Portugal nos termos previstos na Diretiva n.º 2009/28/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009, e em articulação com os novos cenários de procura de energia no período de 2013 -2020.

A revisão tanto do PNAEE como do PNAER tem em conta as medidas de eficiência energética e de promoção das fontes de energia renováveis já constantes do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) e deve com eles estar articulado.

O PNAER 2020 fixa os objetivos nacionais relativos à quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida nos sectores dos transportes, da eletricidade e do aquecimento e arrefecimento em 2020, bem como as respetivas trajetórias de penetração de acordo com o ritmo da implementação das medidas e ações previstas em cada um desses sectores.

As novas projeções macroeconómicas, definidas no final de 2011, perspetivam um PIB em 2020 inferior em pelo menos 8% ao assumido no PNAER de 2010, exigindo uma revisão dos pressupostos de consumo de energia primária e final e, consequentemente, das necessidades reais em termos de eficiência energética e energias renováveis para o cumprimento das metas europeias.

Assim, várias medidas que constam do PNAER de 2010 justificam uma revisão, nomeadamente medidas relacionadas com os incentivos à instalação de potência adicional de fontes de energia renovável. O PNAER adequa a evolução da futura capacidade de produção e das escolhas tecnológicas a uma lógica de racionalidade económica e de livre iniciativa dos promotores, cujas decisões de investimento deixam de estar dependentes de mecanismos de subsídio ou de remuneração garantida e de mitigação de risco.

O Decreto -Lei n.º 141/2010, de 31 de dezembro estabeleceu metas (de acordo com a Diretiva Energias Renováveis) para Portugal, em que 31% do consumo final bruto de energia e 10% do consumo energético nos transportes em 2020 é proveniente de fontes renováveis. Valores que são

assumidos no PNAER 2020. A Diretiva não prevê metas obrigatórias específicas para o setor da eletricidade ou para o setor do aquecimento e arrefecimento.

Em relação ao eixo do Aquecimento e Arrefecimento, é expectável que os níveis de introdução de fonte de energia renovável aumentem até 2020 sem necessidade de investimentos públicos adicionais, através da substituição de equipamentos e consequente redução do consumo energético, ou pela continuidade de algumas políticas, nomeadamente o RCCTE e RSECE, que obrigam à instalação de painéis solares em toda e qualquer nova construção e em remodelações de valor superior a 25% do imóvel.

Estes dois planos sintetizam a política nacional energética para a eficiência energética e para as energias renováveis, sendo que apresentam algumas medidas de aplicação específica no setor dos edifícios, como explanado acima.

A importância das fontes energia renovável como fator de segurança energética nacional está bem evidente num dos principais eixos da Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) (Resolução do Conselho de Ministros 29/2010 de 15 de Abril) onde foram definidos cinco eixos: agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira; aposta nas energias renováveis, promoção da eficiência energética, garantia da segurança de abastecimento e sustentabilidade da estratégia energética (MEID, 2010). Através de cinco eixos foram definidos os principais objetivos a atingir em 2020, assim:

1. Reduzir a dependência energética externa de Portugal para 74%, produzindo, em 2020, a partir de recursos endógenos, o equivalente a 60 milhões de barris anuais de petróleo (31% da energia final).
2. Cumprir os compromissos assumidos por Portugal permitindo que em 2020, 60% da eletricidade produzida tenha origem em fontes renováveis e o consumo de energia final e as emissões sejam reduzidas em 20%.
3. Reduzir em 25% o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas gerando uma redução de importações de 2000 milhões de Euros anuais no horizonte de 2020.
4. Consolidar o cluster das energias renováveis em Portugal, assegurando em 2020 um Valor Acrescentado Bruto de 3800 Milhões € e criando mais 100.000 postos de trabalho a acrescer aos 35.000 já existentes no setor e que serão consolidados e incrementando o impacto no PIB até 2020.

5. Manter o desenvolvimento do cluster industrial associado à promoção da eficiência energética permitindo a criação de 21.000 postos de trabalho por ano, gerando um investimento previsível de 13.000M€ até 2020 e proporcionando exportações adicionais de 400 M €.
6. Promover o desenvolvimento sustentável criando condições para reduzir adicionalmente, no horizonte de 2020, 25 milhões de toneladas de emissões de CO₂, num valor a preços atuais de mercado de 375 milhões de Euros (RENEWABLE, 2012).

A ENE garantirá a progressiva descarbonização da economia portuguesa e de Portugal. A produção de eletricidade a partir de energias renováveis implicará, em 2020, uma redução adicional das emissões de 10 milhões de toneladas de CO₂ e, as medidas associadas à eficiência energética evitarão a emissão, segundo estimativas preliminares, de cerca de 10 milhões de toneladas de CO₂.

De referir que para a concretização dos pontos 1, 2 e 3 da ENE acima referidos contribui a eficiência energética no setor dos edifícios. Com esta estratégia, Portugal dará passos muito significativos para o cumprimento dos objetivos a que está comprometido.

Todo o desenvolvimento regulamentar das últimas décadas, quer internacional quer nacional, na promoção da eficiência energética tem permitido um acompanhamento e atualização do setor da construção. O conhecimento científico caminha em paralelo com esse desenvolvimento, quer numa fase anterior às imposições regulamentares por forma a suportá-las tecnicamente, quer numa fase posterior, durante a sua aplicação.

É fundamental que durante a aplicação da regulamentação se analisem e interpretem os resultados que daí advêm por forma adaptar, corrigir e melhorar a regulamentação existente. A constante e rápida mudança do comportamento humano, bem como do contexto socioeconómico, obrigam a um acompanhamento e monitorização constantes das consequências da aplicação da regulamentação.

Por outro lado, os planos e estratégias nacionais já em vigor constituem uma oportunidade de desenvolvimento, nomeadamente porque implementam incentivos financeiros e fiscais que incitam à dinamização do sector da reabilitação.

O atual contexto regulamentar, com os incentivos financeiros e fiscais e com a vontade política inerente, bem como a crise de empregabilidade no sector da construção poderão constituir uma oportunidade para focar o mercado na reabilitação.

Em termos económicos, o investimento na reabilitação poderia ser encarado como forma de contrariar as estatísticas do desemprego e de combater a crise económica. Segundo a AICCOPN

(AICCOPN; 2012) o investimento na reabilitação e conservação de edifícios em Portugal é extremamente reduzido, representando apenas 6,5% do investimento total do setor da construção, muito inferior à média dos países de UE em que esse setor corresponde a uma fatia de 36%.

3. CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA CÁLCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

De acordo com a Diretiva Europeia EPBD Recast (artigo 5., o anexo I e o anexo III) foi estabelecido um quadro metodológico comparativo a utilizar pelos Estados-Membros para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios novos e existentes, bem como dos componentes de edifícios (REGULAMENTO DELEGADO (UE) N. o 244/2012 DA COMISSÃO de 16 de janeiro de 2012).

Esse quadro metodológico especifica as regras para a comparação de medidas de eficiência energética, de medidas que recorrem a fontes de energia renováveis e de conjuntos e variantes dessas medidas, com base no desempenho energético primário e no custo atribuído à sua implementação. Estabelece também a forma de aplicar essas regras aos edifícios de referência selecionados, com o objetivo de definir níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético. No regulamento delegado acima identificado são apresentadas definições de instrumentos que serão utilizados ao longo do método, e nomeadamente desta dissertação, pelo que importa apresentar alguns conceitos como custo global, custo financeiro ou macroeconómico (ANEXO 1).

Neste capítulo serão também explicados, desenvolvidos e justificados os pontos que permitem implementar o quadro metodológico referido ao contexto nacional, nomeadamente o cálculo dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios a analisar, os custos globais (financeiros e macroeconómicos) e níveis ótimos de rentabilidade. Serão identificados os edifícios mais representativos do parque habitacional nacional, será determinado, mediante diversas medidas de melhoria devidamente justificadas, o seu desempenho energético e calculado o custo global das mesmas. De acordo com a metodologia e análise de sensibilidade serão determinados os custos em duas perspetivas, social e privada, e encontrado o custo global ótimo.

3.1. Edifícios de Referência

Um edifício de referência destina-se principalmente a representar o parque imobiliário típico e médio existente num dado EM já que é impossível calcular a situação ótima em termos de rentabilidade para cada um dos edifícios. Estes edifícios devem refletir da forma mais precisa

possível o parque imobiliário nacional efetivamente existente para que os resultados dos cálculos realizados, de acordo com a metodologia, sejam representativos.

É recomendado que os edifícios de referência sejam estabelecidos de uma das duas formas seguintes:

(1) Seleção de um exemplo real que represente o edifício mais típico de uma categoria específica. Segundo o Regulamento Delegado (EU) N. 244/2012 as principais categorias a considerar são:

- 1) Edifícios unifamiliares;
- 2) Blocos de apartamentos e edifícios multifamiliares;
- 3) Edifícios para escritórios.

(2) Criação de um «edifício virtual» que, em relação a cada parâmetro relevante, inclua os materiais e sistemas mais utilizados.

Os EM devem também definir edifícios de referência para as outras categorias de edifícios não-residenciais, nomeadamente: edifícios de educação, hospitais, hotéis e restaurantes, infraestruturas desportivas, edifícios comerciais ou outro tipo de edifícios consumidores de energia (de acordo com o anexo I, ponto 5, alíneas d) a i), da Diretiva 2010/31/EU), para os quais existem requisitos de desempenho energético específicos. Os EM podem ainda definir subcategorias de edifícios de referência tendo em conta a idade, condições climáticas, dimensão, orientação e proteção solar, produtos de construção utilizados nas estruturas de carga e noutras estruturas ou edifícios classificados como património protegido, contudo esta subdivisão não é obrigatória podendo servir de apoio para a definição mais precisa dos edifícios de referência.

No caso dos edifícios novos deve definir-se pelo menos um edifício de referência para cada categoria de edifícios, no caso dos edifícios existentes, objeto de renovação profunda, deve definir-se, pelo menos, dois edifícios de referência. Estes edifícios de referência podem ser definidos com base em subcategorias de edifícios (diferenciados por dimensões, idade, estrutura de custos, materiais de construção, padrões de utilização ou zonas climáticas, por exemplo) que tenham em conta as características do parque imobiliário nacional. Devem ainda corresponder à estrutura dos requisitos de desempenho energético em vigor ou previstos.

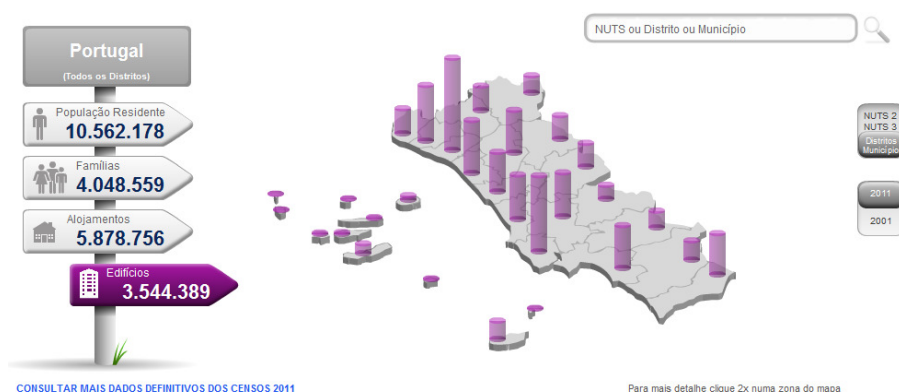
Também neste contexto há uma diferenciação entre edifícios existentes e edifícios novos. Assim, no caso dos edifícios existentes os EM devem aplicar, pelo menos, uma medida/conjunto de medidas/variante representativa da renovação necessária à manutenção do edifício ou da componente do edifício (excluindo medidas de desempenho energético complementares que

excedam as exigências legais). No caso dos edifícios novos a condição de base a respeitar são os requisitos mínimos de desempenho energético atualmente em vigor.

De acordo com a metodologia, a definição de edifícios de referência e objetivos desta dissertação torna-se necessário identificar edifícios que possam representar o parque imobiliário existente (habitacional) de Portugal. Aliás, para a definição dos edifícios de referência é necessário selecionar um exemplo real de cada categoria específica.

Nesta dissertação foram selecionadas para análise as categorias 1) Edifícios unifamiliares e 2) Blocos de apartamentos e edifícios multifamiliares.

É necessário identificar em Portugal os edifícios, dentro destas categorias, que podem contribuir de modo mais significativo para a correta implementação da metodologia. Assim, torna-se essencial analisar o parque habitacional nacional e de acordo com os dados estatísticos dos CENSOS 2011 (Figura 1) a região do litoral é a região de Portugal com maior percentagem de património edificado. As zonas Norte e Centro albergam cerca de 65,6% dos edifícios residenciais (INE, 2013).



**Figura 1 – Mapa nacional de dados estatísticos
(População residente, famílias, alojamentos e edifícios) (INE, 2013)**

Também segundo o INE, 68,4% dos edifícios existentes em Portugal construídos entre 1960 e 1980 e a necessitar de reparação situam-se na zona Norte e Centro. Note-se que a média nacional de edifícios a necessitar de uma intervenção e construídos na época referida é de 31,8% (ANEXO 2) (INE,2013). Foi também nesses anos, bem como na década seguinte, que se construíram mais imóveis em Portugal e mais uma vez na zona Norte e Centro (ANEXO 2) (INE,2013).

É interessante também verificar que dos mais de 1.600.000 imóveis (cerca de 27,9% de todo o parque edificado) construídos entre 1960 e 1980, mais de 11% estão vazios o que leva a uma maior e mais rápida degradação dos mesmos.

Em Portugal cerca de 87% dos edifícios exclusivamente residenciais são moradias (edifícios com 1 alojamento) e como tal são imóveis que devem ser estudados, pois podem ser considerados como edifícios representativos e contribuir significativamente para o objetivo final nacional de redução de consumos energéticos. É ainda pertinente verificar, segundo os últimos CENSOS, que o número médio de divisões por alojamento em Portugal é 5 e no Norte e no Centro esse valor passa para 5,1 e 5,3. Cerca de 85% dos edifícios residenciais em Portugal têm 1 ou 2 pisos e, em particular entre 1960 e 1980, essa percentagem é ainda maior, 87,9%.

Estes factos vêm reforçar a escolha de um dos imóveis escolhidos para análise nesta dissertação (Categoria 1 - Edifícios unifamiliares, definidos no Regulamento Delegado N° 244/2012). Eles validam com rigor a representatividade do caso de estudo enquanto imóvel “tipo” do edificado em Portugal entre 1960 e 1980 (INE,2013).

Por outro lado o Regulamento indica também a Categoria 2 (Blocos de apartamentos e edifícios multifamiliares) como edifícios a considerar na aplicação da metodologia. De acordo com os últimos CENSOS 2011, em edifícios principalmente residenciais, logo a seguir aos edifícios com um alojamento (1.895.883 alojamentos) seguem-se os edifícios multifamiliares com 3 ou mais alojamentos (1.731.597 alojamentos) (ANEXO 2). Por outro lado 40% destes edifícios estão localizados no Norte e Centro de Portugal (INE, 2013).

Estes dados também validam a opção de considerar para análise e aplicação da metodologia um edifício multifamiliar com 4 alojamentos no Norte de Portugal. A análise desse edifício constituirá o segundo caso de estudo.

Se considerarmos que por motivos sociais e económicos os edifícios mais degradados se encontram nos centros urbanos das principais cidades Portuguesas pode-se concluir que essa localização é a mais pertinente no desenvolvimento desta dissertação.

3.2. Seleção de variantes/medidas/conjuntos

Nesta metodologia é feita uma seleção de variantes/medidas/conjuntos de medidas que deverá ser apresentada em formato de quadro, com informação sobre as características das variantes para aplicação no cálculo de otimização da rentabilidade. Devem ser também identificadas variantes/medidas que utilizem fontes de energia renovável (quer para edifícios novos, quer existentes). Obviamente que as medidas/variantes de eficiência energética definidas para o cálculo dos requisitos de otimização da rentabilidade incluirão medidas necessárias ao cumprimento dos

requisitos mínimos de desempenho energético aplicável em cada estado membro e nomeadamente em Portugal.

Segundo as orientações que acompanham o Regulamento Delegado (JOUE, 2012) há algumas indicações que podem ser tidas em conta para definir as medidas/variantes a estudar para o cálculo dos requisitos de otimização da rentabilidade de um edifício existente.

Quanto à estrutura do edifício: Construção das paredes de edifícios novos ou isolamento adicional das paredes existentes; Construção das coberturas de edifícios novos ou isolamento adicional das coberturas existentes; Sujeição de todas lajes ao sistema de isolamento de novos edifícios ou aplicação de isolamento adicional às lajes existentes; Construção dos pavimentos do rés-do-chão ou isolamento adicional no piso existente; Aumento da inércia térmica; Melhoria das estruturas de portas, janelas e melhoria da proteção solar (fixa ou móvel, manual ou automática, e aplicação de películas nas janelas); Melhoria da estanquidade ao ar; Orientação do edifício e exposição solar (medida aplicável apenas em edifícios novos); Alteração/otimização do rácio entre a área envidraçada e a área de fachada); Aberturas para ventilação noturna (ventilação cruzada ou por efeito de chaminé).

Quanto aos sistemas AVAC: Instalação ou melhoria do sistema de aquecimento (baseado em energia de origem fóssil ou de fontes renováveis); Dispositivos de monitorização e medição para comando da temperatura dos espaços e da água; Instalação ou melhoria do sistema de abastecimento de água quente (baseado em energia de origem fóssil ou de fontes renováveis); Instalação ou melhoria da ventilação; Instalação ou melhoria do sistema de arrefecimento ativo ou híbrido; Melhoria da utilização da iluminação natural e sistema de iluminação ativa; Instalação ou melhoria de sistemas fotovoltaicos; Mudança de vetor energético para um sistema; Mudança de bombas e ventiladores; Isolamento da canalização; os aquecedores de água diretos ou o armazenamento indireto de água aquecida por diversos vetores podem ser combinados com a energia solar térmica; Instalações de aquecimento (e arrefecimento) com energia solar (de diferentes dimensões); Ventilação noturna intensiva (para edifícios não residenciais em algumas situações climáticas); Microunidades PCCE com diferentes vetores;

Variantes estabelecidas: Pacotes/variantes existentes, como os rótulos ecológicos nacionais, e outros edifícios reconhecidos com necessidades de energia baixas ou quase nulas, como, por exemplo, as casas passivas.

Ainda de acordo com as orientações que acompanham o Regulamento Delegado (JOUE, 2012) o número de medidas/variáveis não deve ser inferior a 11.

Para iniciar a determinação das soluções de reabilitação (designadas de SOL) mais vantajosa do ponto de vista de custo/benefício, ou seja determinando os níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético de acordo com o regulamento delegado, é necessário definir um conjunto de variantes (designadas de VAR) que possa representar melhorias quer no vetor envolvente (opaca e transparente), quer no vetor sistemas (equipamentos para aquecimento e arrefecimento ambiente e aquecimento de AQS), quer também no sector de produção de energias renováveis. Ou seja é necessário definir melhorias nas três opções em que se pode intervir numa reabilitação energética.

3.2.1. Envolverte Opaca

Paredes exteriores

A ciência da higratérmica comprova que isolar um edifício pelo exterior é em geral uma solução energeticamente eficaz. Isto verifica-se pois ao isolar pelo exterior a inércia térmica interior contribui para a estabilidade térmica, sendo a massa dos elementos construtivos considerada e desta forma a sua espessura e condutibilidade térmica são incluídos nos cálculos do Coeficiente de Condutibilidade Térmica. Isto permite, caso não haja outros condicionalismos construtivos, nomeadamente arquitetónicos, considerar a opção de isolar pelo exterior a mais eficiente.

As soluções de isolamento pelo exterior de fachadas mais correntes são: o sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite System) e a fachada ventilada. A solução de isolamento pelo exterior ETICS é um sistema construtivo que permite aproveitar a inércia térmica interior, minorar e/ou corrigir eventuais pontes térmicas e permite uma intervenção no edifício sem que os utilizadores sejam limitados das suas habitações. Trata-se de um sistema aderido ao suporte (betão, alvenaria, pedra, etc.) constituído por várias camadas: argamassa de colagem, placa isolante, argamassa de revestimento (duas camadas), rede de reforço, fixação mecânica, primário de regularização e acabamento (colorido ou não). Este sistema pode ser utilizado com diversos isolantes, nomeadamente com lã de rocha (MW), poliestireno expandido moldado (EPS), poliestireno expandido extrudido (XPS) e aglomerado negro de cortiça (CIB) e o poli-isocianurato (PIR). Em Portugal, e em grande parte dos países da Europa, o isolante mais utilizado neste sistema é o EPS, contudo a maioria dos fabricantes de argamassas promovem os quatro isolantes valorizando as vantagens de cada um.

Outro sistema de isolamento pelo exterior é o sistema tipo “fachada ventilada”. Este sistema utiliza um isolante térmico geralmente em placa e um sistema de perfis metálicos auxiliares. Do ponto de vista

térmico o desempenho de uma fachada ventilada com a mesma espessura de isolante e as mesmas condições de suporte é ligeiramente superior ao do ETICS. Contudo, apesar de apresentar muitas vantagens o sistema tem um custo ainda alto relativamente ao sistema ETICS, bastante mais implementado em Portugal (RODRIGUES, 2011).

Tal como descrito, em Portugal, a maioria das empresas produtoras e fornecedoras do sistema e/ou argamassas promovem a solução ETICS com diferentes isolantes. Assim, foi também um objetivo integrar esses isolamentos nas diversas variantes no sentido de os comparar quer no que diz respeito ao seu desempenho, quer ao seu custo.

Neste contexto, foram utilizados o EPS, o XPS e o PIR.

O isolamento com lã mineral (lã de rocha) não foi considerado pois apesar de ter uma componente de isolamento acústico, o que para o desenvolvimento deste caso de estudo não é relevante, apresenta uma condutibilidade térmica mais elevada (entre 0,042 e 0,045 W/(m.°C)) que os restantes isolantes selecionados (XPS, EPS e PIR). Note-se que o EPS a utilizar no sistema ETICS deverá ter uma massa volúmica aparente maior ou igual a 20kg/m³ o que corresponde a uma condutibilidade térmica de 0,040 W/(m.°C).

Cobertura Exterior

O XPS e o PIR são os isolamentos que apresentam mais baixos valores de condutibilidade térmica e tendo em consideração que a cobertura é um elemento construtivo com grande relevância nas perdas térmicas foram escolhidos como isolantes a utilizar.

O XPS é o mais indicado quando se pretendem colocar cargas elevadas sobre ele e/ou quando a presença de água ou humidade é relevante. Assim o XPS é o isolamento de eleição para coberturas (planas e inclinadas), pavimentos, pavimentos térreos e elementos enterrados (como por exemplo paredes de cave). A opção técnica de colocar o isolamento sobre uma laje esteira e não sob uma cobertura inclinada é mais indicada, quando possível, já que não seria interessante isolar um volume que usualmente não é utilizado nem aquecido. Outra solução possível seria isolar a laje esteira pelo interior no entanto iria desperdiçar-se a inércia térmica da laje. A solução pelo interior não foi considerada já que do ponto de vista térmico não é a mais eficiente.

Pavimento térreo

O pavimento térreo é um elemento construtivo que está sujeito a cargas permanentes e sobrecargas relativamente elevadas. Por outro lado o facto de estar em contacto com o terreno permite que este seja suscetível à presença de humidades. Estes dois fatores impõem que o isolamento a considerar

seja imune à presença de humidade e que suporte carga. O XPS é o isolamento que melhor combina estas duas exigências funcionais do pavimento. Nas variantes estudadas para o pavimento térreo foram testadas duas soluções de isolamento térmico, o XPS e o PIR. Estas opções foram consideradas por motivos diferentes; a placa rígida de XPS possui elevada resistência à compressão (podendo chegar aos 700kPa) (FIBRAN, 2012) o que é uma exigência de um pavimento. Por outro lado o PIR apesar de ter melhor valor de condutibilidade térmica (ou seja mais baixa) não possui uma resistência à compressão (ou seja à capacidade de suportar carga) tão elevada. (VIERO, 2012) Uma outra característica destes dois isolamentos que condicionou a sua escolha foi o seu ótimo comportamento na presença de água ou em zonas húmidas. Ambos os isolantes não permitem a absorção de água e pode considerar-se que são imunes a esta.

O EPS não foi considerado no pavimento exatamente porque não garante a insensibilidade à humidade e à água que é necessária num pavimento térreo e por outro lado não tem capacidade resistente que garanta um bom desempenho quando colocado no pavimento. (ACEPE, 2012). Além disso como a sua condutibilidade é maior seriam necessárias espessuras superiores às do XPS ou PIR para garantir o mesmo desempenho térmico. Este facto poderia ser comprometedor já que numa reabilitação, em geral, temos limitações de pé-direito (mínimo 2,4m) (RGEU, 2013).

3.2.2. Envoltente Transparente

Os vãos envidraçados são elementos altamente favoráveis às trocas de calor e como tal é imprescindível conhecer de que forma as diferentes combinações de vidro e proteções solares podem afetar o desempenho térmico dos edifícios. Segundo J. Sirgado (SIRGADO, 2010) o tipo de vidro que apresenta melhor desempenho térmico ao longo da estação de aquecimento é o vidro duplo (baixa emissividade) no entanto também o vidro duplo normal e o vidro triplo apresentam bons desempenhos. Os vidros coloridos, assim como o vidro simples, são os que levam ao pior desempenho térmico dos edifícios durante o Inverno. Segundo este autor o espaçamento entre os panos de vidro e a utilização de argón ou cripton não influenciam de forma considerável o desempenho térmico dos edifícios de habitação. Relativamente à caixilharia o material com melhor desempenho térmico é o PVC, seguido da madeira. Já o mais desfavorável é o alumínio, tendo um desempenho térmico anual idêntico quer apresente ou não corte térmico (SIRGADO, 2010).

O estore veneziano (muito refletante) pelo exterior é uma opção muito interessante do ponto de vista térmico já que permite poupanças energéticas anuais na estação de arrefecimento significativas relativamente à situação sem estore. (SIRGADO, 2010) A solução de utilizar uma proteção pelo interior é, comparativamente, muito desfavorável, pois pode criar o fenómeno de “efeito de estufa”.

Por outro lado a aplicação de dispositivos de sombreamento amovíveis (como o estore), quer pelo interior quer pelo exterior, é uma solução que apresenta um desempenho térmico melhor em comparação com os sombreamentos fixos (GANHÃO, 2011).

As medidas de melhoria estudadas para a envolvente transparente passaram por considerar duas opções. Caixilharia em alumínio e em plástico (PVC), ambas com corte térmico e vidro duplo (corrente, espessura da lâmina de ar, 16mm) e persianas de cor clara ou cortinas interiores.

3.2.3. Sistemas

A escolha acertada do sistema de climatização e AQS pode permitir um maior conforto térmico e uma grande poupança anual. O tipo de instalação depende de vários fatores: tipo de habitação a aquecer; localização e orientação do edifício a aquecer; qualidade do isolamento; espaço disponível para armazenar o combustível; a disponibilidade do combustível considerado; a possibilidade de combinar com outras fontes de energias renováveis e a capacidade de investimento inicial.

A seleção dos equipamentos a considerar não foi fácil já que existem no mercado centenas de soluções quer para aquecimento, quer arrefecimento quer para aquecimento de águas quentes sanitárias. O método de seleção dos equipamentos para cada uma das variantes teve em consideração os equipamentos correntes, típicos e economicamente competitivos existentes no mercado; equipamentos não muito onerosos e de fácil implementação.

Note-se que, segundo os CENSOS 2011, 53,4% dos edifícios habitacionais em Portugal usa a eletricidade para aquecimento e apenas 10% utiliza gás natural. Este fato também foi tido em consideração na seleção dos equipamentos e sua fonte de energia.

Para aquecimento ambiente foram considerados o aquecedor elétrico, o ar condicionado, a bomba de calor, a caldeira mural e o termoacumulador. No que diz ao arrefecimento ambiente foi considerado o ar condicionado (AC) e relativamente ao aquecimento de águas sanitárias os equipamentos selecionados foram a caldeira mural, o esquentador, o termoacumulador e a bomba de calor.

As fontes de energia consideradas foram a energia elétrica e o gás natural.

As soluções estudadas para aquecimento, arrefecimento e AQS tiveram em consideração sistemas eficientes com um tempo de vida útil de 20 anos e que se apresentam de seguida.

Bomba de Calor (Aquecimento, Arrefecimento e AQS)

O princípio de funcionamento de uma bomba de calor resume-se a retirar calor de um local a uma temperatura mais baixa e libertá-lo noutra a uma temperatura mais elevada, para isso são necessárias unidades interiores e exteriores e tubagem para a ligação entre elas. O arrefecimento e aquecimento são feitos por um sistema de tubos de água que terminam em diferentes ventiloconvetores (fan-coil's) instalados nos compartimentos a climatizar. Estes equipamentos podem incorporar filtros de ar, termostatos, grelhas orientáveis, regulação de velocidade e comando remoto, sendo possível adequar a temperatura os diferentes compartimento e sua utilização. (CERDEIRA, 2011).

Foi considerada uma bomba de calor (ar-ar) tipo Rooftop e utilizados termoventiladores (fan coil's) que permitem distribuir, por ar, a energia de aquecimento e arrefecimento pelas divisões das frações. Os termoventiladores, no que diz respeito ao aquecimento, têm como principais vantagens em relação aos radiadores o facto de não necessitarem de temperaturas tão elevadas e de terem dimensões mais reduzidas. Foram cumpridos os requisitos mínimos apresentados na Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, Tabela II.08 (ANEXO 3).

Ar condicionado (Aquecimento e/ou arrefecimento)

O sistema de ar condicionado funciona segundo o mesmo princípio da bomba de calor e pode ser utilizado tanto para aquecimento como para arrefecimento. Tem como desvantagem efetuar a recirculação do ar e não garantir a homogeneidade da temperatura, ocorrendo uma grande diferença de temperatura entre o teto e o chão (pois geralmente os equipamentos interiores estão colocados ou no teto ou junto ao pavimento). No entanto, proporciona bem-estar com um custo de aquisição baixo, permitindo controlar a temperatura e humidade.

Foi selecionado um sistema de AC centralizado, já que se pretende climatizar as frações em quase todos os compartimentos. As unidades primárias devem ser localizadas no exterior da fração (CERDEIRA, 2011).

Para além das unidades exteriores necessárias foram consideradas unidades interiores. O tipo e número de equipamentos foram selecionados de acordo com as características do edifício (número de compartimentos a climatizar, área dos mesmos e possíveis localizações da unidade exterior).

Os equipamentos de Ar condicionado MultiSplit cumprem os requisitos mínimos exigidos pela Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, (Tabela II.05) (ANEXO 3).

Caldeira Mural (Aquecimento e/ou AQS)

No que diz respeito ao AQS as caldeiras têm um funcionamento muito idêntico ao dos esquentadores mas conseguem rendimentos superiores, podendo chegar a 109%, quando é utilizada tecnologia de condensação (CERDEIRA, 2011).

Foi selecionada uma caldeira corrente no mercado e utilizados radiadores que permitem distribuir, por água, a energia de aquecimento pelas divisões da fração. De acordo com a Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, Tabela II.10 (ANEXO 3) a caldeira tem que cumprir requisitos mínimos de eficiência energética, o que se verifica.

Aquecedor Elétrico (Aquecimento)

Os aquecedores elétricos considerados são móveis.

Esquentador (AQS)

Esquentador a gás natural. De acordo com a Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, o esquentador tem que cumprir requisitos mínimos de eficiência energética de acordo com a Tabela II.10 (ANEXO 3).

Termoacumulador (AQS)

Neste tipo de sistemas a água é aquecida por uma caldeira através de um circuito fechado que, por transferência térmica através de uma serpentina, aquece a água sanitária existente dentro de um acumulador. Um sistema por acumulação, bem dimensionado, permite níveis de conforto mais elevados e simultaneidade de banhos, mas esgotada a sua capacidade demora várias horas até ter novamente o depósito cheio de água quente para consumo. Além do mais o custo é mais elevado e necessita de mais espaço (CERDEIRA, 2011).

Todas as características técnicas dos equipamentos em estudo se encontram no ANEXO 4.

Ventilação

Não foi considerada a necessidade de ventilação mecânica.

Energias renováveis

Atualmente em Portugal os equipamentos mais utilizados passam pela captação de energia solar pelo que neste caso de estudo foram considerados os sistemas fotovoltaicos e os sistemas solar térmicos. Estes equipamentos são auxiliares na supressão das necessidades de aquecimento e águas quentes sanitárias. Contudo tem havido uma tendência do mercado na introdução de algumas outras

tecnologias nomeadamente caldeiras de biocombustível. Por este facto foram também consideradas neste estudo as caldeiras a biomassa em peletes.

Outras fontes de energia renovável poderiam ser estudadas, nomeadamente a eólica e mini-hídrica, contudo não são apropriadas a este caso de estudo. No caso da energia eólica é necessário o sistema ter alguma dimensão para ter rentabilidade económica, o que raramente se verifica em meio urbano e muito menos para um edifício unifamiliar (RODRIGUES, 2011). Para conseguir um bom rendimento seria necessário que a localização dos aerogeradores se verificasse numa região ventosa, ou seja, com vento na maioria dos dias do ano e com uma velocidade média anual superior aos 13 km/h. (ISOLANI, 2008) Na zona do Porto a aproximadamente 80m de altitude as velocidades médias anuais rondam os 17km/h (COSTA, 2004) pelo que seria expectável a utilização deste tipo de energia. Contudo, devido à ainda escassa utilização desta energia no sector dos edifícios em Portugal, pouco conhecimento no mercado e elevado custo de investimento optou-se pelo seu não estudo. Relativamente à fonte de energia hídrica ela está associada ao escoamento por gravidade o que em meio urbano não se verifica com frequência. Por estes factos não foram consideradas estas fontes de energia.

As caldeiras a biocombustível estão já introduzidas no mercado e são de fácil acesso e implementação. Foram seleccionadas as caldeiras abastecidas a peletes (partículas de pequenas dimensões) porque permitem controlar a emissão de gases poluentes tornando-se mais interessantes do ponto de vista ecológico (SANTOS, 2009). Por outro lado o processo de abastecimento contínuo e automático que este biocombustível permite garante um elevado conforto aos utilizadores.

Sistema solar térmico

Quanto aos sistemas solar térmicos optou-se pela utilização de uma marca nacional com certificação CERTIF e recorreu-se ao software de cálculo SOLTERM. O SOLTERM - Análise de desempenho de sistemas solares “...um programa de análise de desempenho de sistemas solares, através de simulação numérica de balanços energéticos ao longo de um ano de referência, e especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal.” desenvolvido pelo LNEG (LNEG, 2012).

Por simplificação de cálculo as obstruções do horizonte e a irradiação solar foram consideradas as por defeito do SOLTERM.

Sistemas fotovoltaicos

Foram considerados os painéis fotovoltaicos organizados em vários 'strings' com vários módulos em cada e ligados à rede de baixa tensão.

Todos os relatórios energéticos retirados do SOLTERM encontram-se no ANEXO 5.

Caldeira biomassa

A caldeira considerada tem sistema de alimentação automático.

3.3. Cálculo das Necessidades de Energia Primária decorrentes da aplicação das medidas/variantes e do Valor máximo das Necessidades Energéticas

Após a seleção de variáveis procede-se ao cálculo das necessidades de energia primária global decorrentes da aplicação das medidas/variantes, nomeadamente a avaliação do desempenho energético (descrição do método de cálculo, apresentação de referências legislativas e regulamentares, bem como a normas pertinentes, referir o período de cálculo, 20 ou 30 anos, o intervalo de cálculo - anual, mensal ou diário - e os dados climáticos utilizados) e a apresentação dos resultados (necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, energia utilizada e fornecida e necessidades de energia primária).

O cálculo das necessidades de energia primária global inclui a utilização de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação, fornecimento de água quente e iluminação. De acordo com a Diretiva 2010/31/UE, a eletricidade utilizada por aparelhos eletrodomésticos e dispositivos ligados a tomadas pode ser incluída, mas tal inclusão não é obrigatória.

Devem ainda incluir-se as poupanças energéticas e à energia produzida no local devem ser deduzidas as necessidades de energia primária e a energia fornecida. Devem ser identificados ainda os fatores de conversão de energia primária utilizados no EM, bem como um quadro adicional, onde conste a energia fornecida por vetor.

Cálculo das Necessidades de Energia Primária

Em Portugal a legislação relativa ao cálculo do desempenho térmico dos edifícios (DL n.º 118/2013) foi publicada a 20 de Agosto de 2013 e entra em vigor a 1 de Dezembro do mesmo ano.

Na determinação das Necessidades de Energia Útil e Nominais Anuais Globais de Energia Primária foi utilizada a metodologia do DL n.º 118/2013 que irá entrar em vigor em breve.

A expressão de cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot ano} \right] \quad (1)$$

em que:

$Q_{tr,i}$ - Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh]

$Q_{ve,i}$ - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh]

$Q_{gu,i}$ - Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh]

A_p - Área útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m²]

A expressão de cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento é:

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_{vc})Q_{g,v}}{A_p} \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (2)$$

η_{vc} - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento conforme Despacho RCCTE.02

$Q_{g,v}$ - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh]

A_p - Área útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²]

A expressão de cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de águas quentes sanitárias é:

$$Q_a = \frac{(40 \cdot n \cdot f_{sh} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600000} \quad [kWhL/ano] \quad (3)$$

n - Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração sendo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia T0, e n+1 ocupantes nas tipologias do tipo T_n com n>0.

f_{sh} - Fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência

hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo sector das instalações prediais.

Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0,9$, sendo que nos restantes casos, $f_{eh} = 1$.

ΔT - Aumento de temperatura necessário a preparação das AQS e que, para efeitos do presente cálculo, toma o valor de referência de 35°C.

n_a – Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, para efeitos do presente cálculo, se considera de 365 dias.

As necessidades nominais de energia primária de um edifício de habitação resultam da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com as diferentes utilizações: aquecimento, arrefecimento, produção de AQS e ventilação mecânica, deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável e de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{te} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{me,j}}{\Lambda_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{\Lambda_p} \cdot F_{pu,j} \quad [kWh_{ep}/(m^2 \cdot ano)] \quad (4)$$

N_{ic} - Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)]

$f_{i,k}$ - Fração das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k

N_{vc} - Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)]

$f_{v,k}$ - Fração das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k

Q_a - Necessidades de energia útil para produção de AQS, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)]

$f_{a,k}$ - Fração das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k

k - Eficiência do sistema k

j - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável

p - Fontes de origem renovável

$E_{ren,p}$ - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p, [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida e/ou exportada

$W_{vm,j}$ - Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ano]

A_p - Área útil de pavimento [m²]

$F_{pu,p}$ e $F_{pu,j}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária, [kWh_{EP}/kWh]

Os fatores de conversão utilizados foram os indicados na proposta de revisão do RCCTE de 2012, no Despacho Geral.02 ou seja: 2,5 kWh_{EP}/kWh para eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável); 1,0 kWh_{EP}/kWh para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis e 1,0 kWh_{EP}/kWh para energia térmica de origem renovável.

δ - Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos seja superior ao respetivo fator de referência, com vista a minimizar eventuais situações de sobreaquecimento.

Cálculo do Valor Máximo das Necessidades Energéticas

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e AQS (N_i, N_v e N_a, respetivamente) foi determinado de acordo com a metodologia indicada acima (Despacho RCCTE.01 da Proposta de revisão do RCCTE de 2012,) e considerando valores e condições de referência de acordo com a Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, (nomeadamente os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados [W/(m².°C)] e coeficientes de transmissão térmica lineares de referência [W/(m.°C)]).

A caracterização dos edifícios, quer do ponto de vista construtivo quer energético, permitiu calcular a classe energética dos mesmos, bem como as Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento (N_{ic}), Arrefecimento (N_{vc}) e de Aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (N_{ac}).

3.4. Custo global

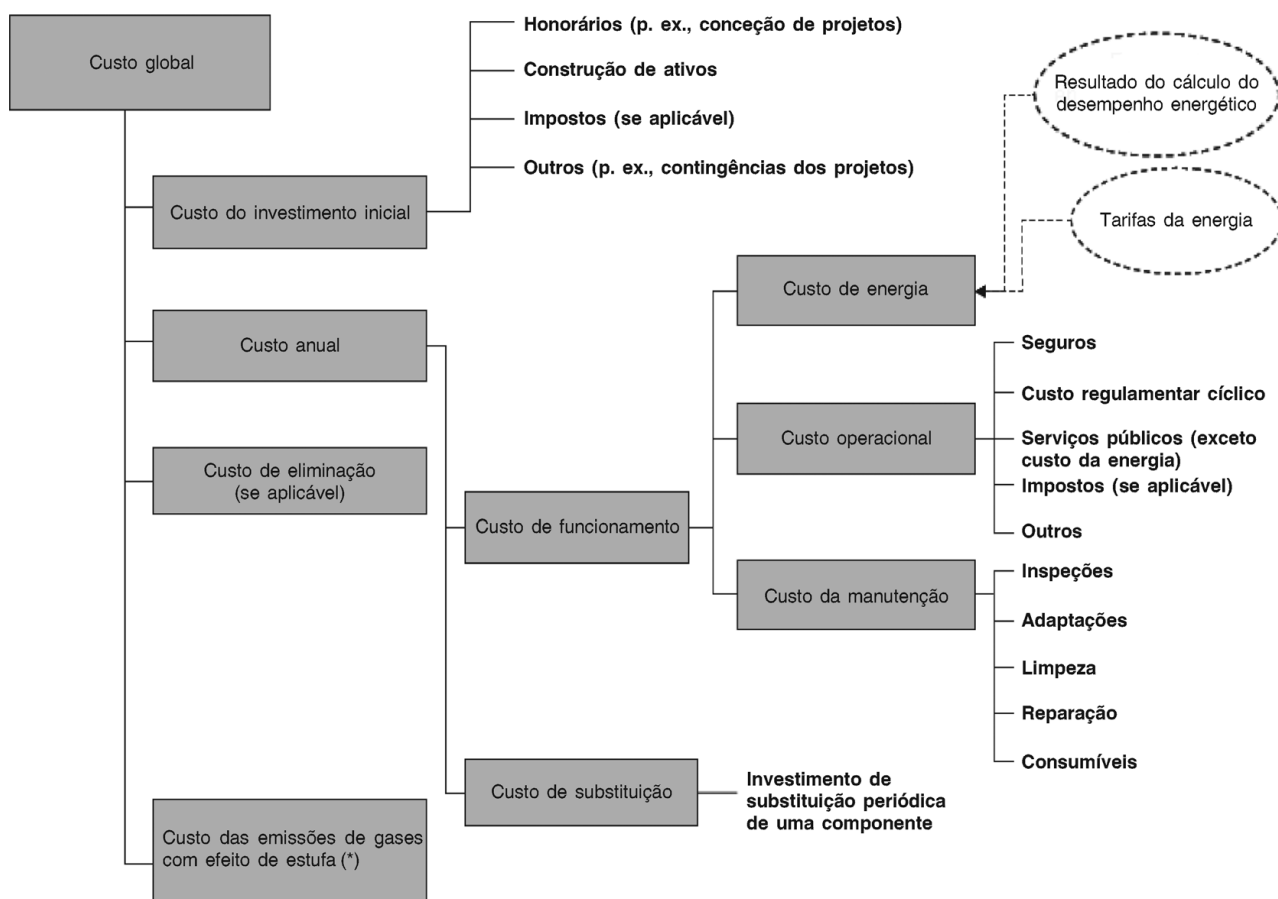
Finalmente deve proceder-se ao cálculo do custo global de cada variante/conjunto de medidas/medida, isto porque a metodologia para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade baseia-se na metodologia do valor atual líquido (custos globais) expressa na Figura 2.

O cálculo do custo global tem em consideração o investimento inicial, a soma dos custos anuais relativos a cada ano e o valor final, bem como os custos de eliminação (se for caso disso), todos com referência ao ano de início (τ_0). Os cálculos dos custos globais têm como resultado um valor

atual líquido dos custos incorridos durante um período de cálculo definido, tendo em conta os valores residuais dos equipamentos com ciclos de vida mais longos. O período de cálculo deve ser de 30 anos para edifícios residenciais e públicos e de, pelo menos, 20 anos para edifícios não residenciais e comerciais (PARLAMENTO EUROPEU, 2012). As projeções dos custos energéticos e das taxas de juro podem ser limitadas ao período de cálculo.

A expressão “custos globais” corresponde ao que é geralmente designado por “análise dos custos do ciclo de vida”.

Neste processo devem referir-se a fonte em que se baseiam as previsões da evolução do preço da energia e a taxa de desconto aplicada nos cálculos macroeconómico e financeiro, bem como os resultados da respetiva análise de sensibilidade, que deverá incidir sobre, pelo menos, duas taxas diferentes. Devem ainda ser indicados os parâmetros utilizados para o cálculo do custo global (p.ex., custos de mão-de-obra, custos das tecnologias)



(*) Apenas para o cálculo a nível macroeconómico

Figura 2 – Categorização dos custos de acordo com o quadro metodológico (JOUE, 2012)

3.4.1. Cálculo do custo global: financeiro e macroeconómico

O cálculo do custo global de cada variante de medidas tem em consideração as previsões da evolução do preço da energia e a taxa de desconto aplicada quer nos cálculos macroeconómico quer financeiros (Figura 2). Tendo em conta a análise de sensibilidade prevista no Regulamento Delegado e o contexto nacional foram analisadas duas perspetivas diferentes, a macroeconómica (social) e a financeira (privada). As taxas de desconto consideradas na análise de sensibilidade foram de 3% e 5%, respetivamente.

Segundo o regulamento delegado e como já referido, a taxa de 3% é obrigatória na análise de sensibilidade. A taxa de 5% foi a considerada tendo em conta outros estudos semelhantes (BPIE, 2013) em países da UE e tendo em consideração também que a perspetiva privada/financeira tem uma abordagem puramente comercial, de curto prazo, de avaliação dos investimentos do sector privado (JOUE, 2012).

A determinação do custo global teve em conta um período de cálculo de 30 anos (edifício residencial) e o ano de início (τ_0) de 2012.

Cálculo financeiro dos custos globais

Na determinação do custo global de uma medida/conjunto de medidas/variante no contexto do cálculo financeiro, os preços a ter em conta são os preços pagos pelo cliente, incluindo os impostos aplicáveis, nomeadamente IVA e outros encargos (Figura 2).

Os custos globais respeitantes aos edifícios são calculados pela soma dos vários tipos de custos, aos quais se deve aplicar a taxa de desconto através de um fator de desconto, para que sejam expressos em termos do valor no ano inicial, acrescidos do valor residual descontado, por recurso à fórmula:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (5)$$

Em que:

τ - Período de cálculo;

$C_g(\tau)$ - Custo global (relativo ao ano inicial τ_0) no período de cálculo;

C_I - Custos de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas j ;

$C_{a,i}(j)$ - Custo anual no ano i para a medida ou conjunto de medidas j ;

$V_{f,\tau}(j)$ - Valor residual da medida ou conjunto de medidas j no final do período de cálculo (em relação ao ano inicial τ_0).

$R_d(i)$ - Fator de desconto para o ano i , com base na taxa de desconto r a calcular do seguinte modo:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p \quad (6)$$

Sendo p o número de anos a partir do período inicial e r a taxa de desconto real.

Os EM devem determinar a taxa de desconto a utilizar no cálculo financeiro, após terem realizado uma análise de sensibilidade com, pelo menos, duas taxas diferentes. Como já referido, as taxas utilizadas neste estudo foram de 3% e 5%.

Cálculo macroeconómico dos custos globais

Na determinação do custo global de uma medida/variante no contexto do cálculo macroeconómico, os preços a ter em conta são os preços pagos pelo cliente, excluindo todos os impostos aplicáveis, IVA, encargos e subvenções. Nesta determinação, ao nível macroeconómico, além das categorias de custos iniciais de investimento, de utilização, os custos de energia e os custos de eliminação (se pertinente) devem incluir-se os custos das emissões de GEE (definido como o valor monetário dos danos ambientais causados pelas emissões de CO₂ relacionadas com o consumo energético num edifício) (Figura 2).

Cálculo dos custos expresso, em termos globais, pela equação:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j)R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (7)$$

Em que:

$C_{c,i}(j)$ - Custo do Carbono para a medida ou conjunto de medidas j durante o ano i .

Deve calcular-se o custo acumulado do carbono das medidas/variantes no período de cálculo multiplicando a soma das emissões anuais de gases com efeito de estufa pelos preços previstos, por tonelada de equivalente de CO₂, (atualizadas em cada ano), utilizando como valores mínimos vinculativos, por tonelada de CO₂ e de acordo com os cenários de preços do carbono atualmente previstos pela Comissão.

Os EM devem determinar a taxa de desconto a utilizar no cálculo macroeconómico, após terem realizado uma análise de sensibilidade com, pelo menos, duas taxas diferentes; uma dessas taxas, expressa em termos reais, deve ser de 3%.

Note-se que a metodologia incide na comparação de medidas/variantes (e não na avaliação dos custos totais para o investidor e/ou para o utilizador do edifício), assim podem omitir-se do cálculo rubricas de custos que não influenciam o desempenho energético do edifício (por exemplo: o custo do revestimento do pavimento; o custo da pintura das paredes; em construções novas: terraplenagens e alicerces, custo das escadas, custo dos elevadores; em grandes obras de renovação: o custo dos andaimes, o custo de demolição, etc.).

3.4.2. Custos iniciais de investimento

Para determinação dos custos de investimento da intervenção no edifício foi necessário recorrer a uma base de dados on-line gratuita do CYPE, o gerador de preços. Foram também solicitados orçamentos a empresas de fornecimento e instalação de equipamentos.

Os custos de investimentos dizem respeito a todos os custos de aquisição de materiais e equipamentos, custos de aplicação e instalação (mão-de-obra) e custo de aluguer de alguns acessórios/equipamentos para execução da obra.

3.4.3. Custos de utilização: manutenção e energia

Os custos de manutenção foram igualmente retirados do gerador de preços CYPE e de algumas bases de dados on-line (MEGACLIMA, 2012), (AGUAQUENTESOLAR, 2012).

Foram considerados os preços da energia (elétrica e gás natural) em vigor em Dezembro de 2012 em Portugal Continental bem como a evolução da mesma de acordo com o acima descrito.

Na perspetiva privada, e relativamente à energia elétrica, para clientes em BTN (baixa tensão normal) (clientes domésticos com potências entre 2,3 e 20,7 kVA e tarifa simples), o custo do kWh é para o ano de 2012 de 0,1393€. (ERSE, 2013). A este valor acresce na fatura do cliente final uma taxa relativa à potência contratada (que varia em função da potência e não tem relação com a quantidade de energia consumida), uma taxa de exploração de 0,07€ (que também não tem aparentemente relação com a quantidade de energia consumida) e um imposto especial sobre o consumo de eletricidade com o valor de 0,001€ por kWh consumido. De acordo com a ERSE (ERSE, 2013) e para o caso de estudo em análise considerou-se uma potência contratada de 4,6kVA com um custo imputado de 0,2268€/dia e um consumo médio mensal de 306kWh. (SANTOS,

2012) Verifica-se que a soma destes valores $[0,2268\text{€/dia} \times 30\text{dias} + 0,07 + 0,001 \times 306]/306 + 0,1393$ conduz a um valor final de 0,1628€/kWh, ao qual deverá ser somado o IVA de 23%. No entanto, este valor pode sofrer alterações de consumidor para consumidor devido à existência de duas parcelas independentes da quantidade de energia consumida, variação essa que não será considerada neste estudo.

Na perspetiva social os valores da energia elétrica são idênticos à perspetiva privada, contudo não têm em consideração qualquer tipo de taxa ou impostos. O preço total de eletricidade pago pelos consumidores (com potências contratadas em BTN inferiores a 20,7kVA) é desagregado pelas seguintes componentes: energia (43%), redes (26%) e custos de interesse económico geral (CIEG) (31%). A componente de Energia resulta dos preços formados no mercado de eletricidade. As Redes são sujeitas à regulação da ERSE e os CIEG são determinados no âmbito da legislação em vigor. Assim o valor de custo da energia elétrica considerado foi de apenas o custo da energia e redes, pois os CIEG são considerados como uma taxa tais como os valores de 0,001€/kWh e 0,07kWh. O custo da energia elétrica calculado foi de 0,1393€/kWh multiplicado por 69%

Convém ainda reter que 2012 foi o último ano antes da liberalização do sector da energia em Portugal podendo várias empresas nacionais ou não fornecer energia elétrica aos consumidores domésticos e industriais. O processo de extinção das tarifas reguladas aos clientes de (BTN) (Decreto-Lei n.º 75/2012, de 26 de março), entrou em vigor dia 1 de julho de 2012, para os clientes com potência contratada superior ou igual a 10,35 kVA e dia 1 de janeiro de 2013, para os clientes com potência contratada inferior a 10,35 kVA.

No que diz respeito ao gás natural o custo variável era, para a tarifa no escalão 2 (consumos entre o 221m³ e 500m³ por ano) em 2012, de 0,0595€/kWh (segundo a ERSE- Tarifas e preços de gás natural para o ano gás 2011-2012) (ERSE, 2011). Também segundo as tarifas à época o termo tarifário fixo para o gás natural era de 0,1170€/dia.

A considerar ainda está a taxa de ocupação de subsolo (TOS) que para o concelho de Vila Nova de Gaia é composta por uma parcela variável de 0,001859€/kWh e uma parcela fixa de 0,02164€/dia segundo a ERSE em *Estrutura tarifária no ano gás 2011-2012* (ERSE, 2011).

Já para o concelho do Porto a TOS é composta pela parcela variável de 0,001065€/kWh e pela parcela fixa que toma o valor de 0,001239€/dia.

Os custos relativos à biomassa (peletes) utilizada nas caldeiras (solução 6) não estão estipulados pela ERSE, contudo após pesquisa em várias empresas do ramo que comercializam este tipo de combustível considerou-se um custo médio de 0,056€/kWh. (LUSOSOL, 2013) e (SOLIUS, 2013).

Os custos energéticos com a iluminação e ventilação apesar de entrarem, de acordo com a metodologia para o cálculo dos custos globais não foram considerados por duas razões distintas. Não foram considerados equipamentos ou sistemas de ventilação mecânica no caso de estudo e como tal não há custos energéticos associados. O custo da energia elétrica associada à iluminação não é relevante já que é igual em qualquer uma das variantes e como tal não influencia a análise comparativa das mesmas. Este facto está aliás previsto na metodologia descrita no Regulamento Delegado.

Os EM devem ter em conta a evolução dos preços da energia (a longo prazo, do petróleo, do gás e do carvão, bem como da eletricidade) ao determinarem os custos energéticos para procederem aos seus cálculos dos níveis ótimos de rentabilidade. A Comissão Europeia publica atualizações destas tendências sendo que a última atualização (em 2009) sugere um aumento anual de 2,8 % dos preços do gás natural, de 2,8 % dos preços do petróleo e de 2 % dos preços do carvão. (JOUE, 2012)

Esta evolução não é desprezável e em geral o custo aumenta. De acordo com os estudos efetuados e tendência do mercado energético estima-se que essa variação em Portugal seja de 3,4% por ano na década 2010-2020 e 1,8% na década 2020-2030. (EUROPEAN COMMISSION, 2010). Tendo em consideração a volatilidade do mercado energético foi adotado o valor médio de 3%. Este valor é também coerente com a variação do preço da eletricidade em Portugal continental que foi de 2012 para 2013 de 2,8% (ERSE, 2012) (Quadro 4).

3.4.4. Custos das emissões de gases com efeito de estufa

Os custos das emissões de gases com efeito de estufa apenas foram considerados no cálculo macroeconómico ou seja na perspetiva social, onde não são considerados os impostos, taxas e subsídios.

De acordo com o Regulamento Delegado explicado no ponto 3 deve-se calcular o custo acumulado do carbono das variantes seleccionadas no período de cálculo (30 anos) multiplicando a soma das emissões anuais de GEE pelos preços previstos. Os preços considerados no caso de estudo foram os valores mínimos indicados no regulamento ou seja: 20€/tonelada de CO₂ até 2025; 35€/tonelada de CO₂ até 2030 e 50€/tonelada de CO₂ além de 2030 (Quadro 4).

Quadro 4 - Resumo dos parâmetros para cálculo dos custos globais

CUSTOS GLOBAIS	
Taxa de desconto na análise de sensibilidade	Perspetiva privada (financeira) - 5%
	Perspetiva social (macroeconómica) - 3%

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Custos iniciais de investimento Custos de utilização (manutenção)	CYPE
CUSTOS DE ENERGIA	
Eletricidade	Perspetiva Privada: 0,1393€/kWh + 0,2268€/dia Taxas: IVA - 23%; 0,001€/kwh; 0,07
	Perspetiva Social: 0,1393€/kWh x 69% (parcela correspondente à energia e redes)
Gás natural	Perspetiva Privada: 0,0595€/kWh Taxas VNGaia: IVA - 23%; 0,1170€/dia (Termo Tarifário fixo); 0,001859€/kWh (Parcela variável da TOS); 0,002164€/dia (Parcela fixa da TOS) Taxas Porto: IVA - 23%; 0,1170€/dia (Termo Tarifário fixo); 0,001065€/kWh (Parcela variável da TOS); 0,001239€/dia (Parcela fixa da TOS)
	Perspetiva Social: 0,0595€/kWh
	Perspetiva Privada: 0,056€/kWh. Taxas: IVA - 23%;
Biomassa	Perspetiva Social: 0,056€/kWh.
CUSTOS DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA	
Gases efeitos de estufa	Perspetiva Social: 20€/tonelada de CO ₂ até 2025; 35€/tonelada de CO ₂ até 2030 50€/tonelada de CO ₂ além de 2030. Valores mínimos vinculativos indicados no regulamento

3.5. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados

O objetivo da análise de sensibilidade consiste em identificar o impacto da variação dos parâmetros mais importantes de um cálculo de otimização de rentabilidade. Os EM devem realizar uma análise de sensibilidade da taxa de desconto utilizando, pelo menos, duas taxas, expressas em termos reais, para o cálculo macroeconómico e duas taxas para o cálculo financeiro. Uma das taxas de desconto a utilizar na análise de sensibilidade do cálculo macroeconómico deve ser de 3 %, expressa em termos reais¹.

Uma vez efetuada a análise de sensibilidade, os EM devem determinar a taxa de desconto mais adequada para cada cálculo e que será utilizada para calcular os níveis ótimos de rentabilidade. Os EM devem realizar uma análise de sensibilidade dos cenários de evolução do preço da energia para todos os vetores de energia utilizados de forma significativa nos edifícios, no contexto nacional.

¹

Esta taxa é utilizada nas Orientações de Avaliação de Impacto da Comissão, de 2009, e corresponde, em termos gerais, ao rendimento real médio da dívida pública, a longo prazo, na UE, num período contabilizado desde o início da década de 80.

Recomenda-se que a análise de sensibilidade seja alargada a outros dados sensíveis a utilizar.

No âmbito da presente dissertação foram utilizadas duas taxas de desconto, 3% para o cálculo macroeconómico (perspetiva social) e 5% para o cálculo financeiro (perspetiva privada).

Como explanado anteriormente a taxa de desconto de 3% é uma sugestão do Regulamento Delegado, a taxa de 5% foi considerada tendo em conta a perspetiva de rentabilização do investimento privado numa reabilitação energética.

3.6. Obtenção de um nível ótimo de rentabilidade dos custos de desempenho energético

Deve proceder-se à otimização dos custos dos edifícios de referência e em cada caso, comunicar o desempenho energético ótimo, do ponto de vista económico, em termos de energia primária (Figura 3) (JOUE, 2012) (expresso em kWh/m²/ano ou, caso se utilize uma abordagem centrada nos sistemas, na unidade pertinente – por exemplo, coeficiente U), indicando se os níveis ótimos de rentabilidade são calculados numa perspetiva macroeconómica ou financeira.

Ou, simplificando, e com base nos cálculos da utilização de energia primária e dos custos globais associados às diversas medidas/variantes avaliadas para os edifícios de referência definidos podem ser elaborados gráficos que descrevam a utilização de energia primária (kWh de energia primária/(m² de área útil e ano)) e os custos globais (€/m² de área útil) das diversas soluções. A partir do número de medidas/variantes avaliados, pode ser elaborada uma curva de custos.

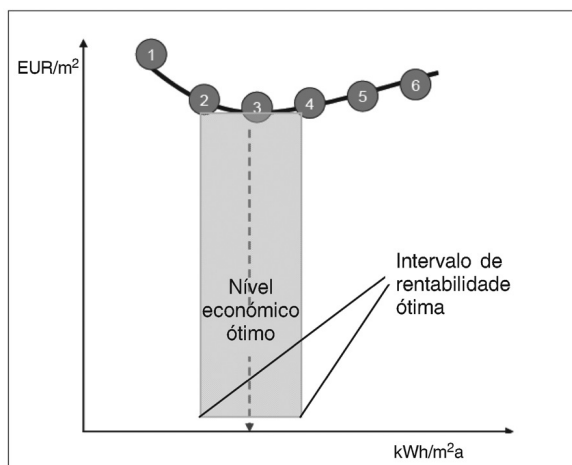


Figura 3 – Diferentes variantes (1 a 6) e posição do intervalo de rentabilidade ótima

A combinação de medidas/variantes com o custo mais baixo (variante 3 na Figura 3) indica automaticamente o nível ótimo de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético. Se as medidas/variantes tiverem custos idênticos aquela a considerar para a definição do nível ótimo

de rentabilidade deverá ser aquela com menor utilização de energia primária (margem esquerda do intervalo de rentabilidade ótima).

De forma sucinta esta é a metodologia que o regulamento delegado descreve e a qual irá ser aplicada nesta dissertação, nomeadamente em dois casos de estudo.

4. CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Este capítulo 4 irá avaliar dois casos de edifícios representativos do parque edificado habitacional português e implementar a metodologia explanada no capítulo anterior. Serão calculadas as necessidades energéticas e custos globais de diversas medidas de reabilitação para ambos os casos, que permitam identificar a variante ótima, de acordo com o 3.6. Ao longo deste capítulo também serão feitas considerações relativamente a alguns resultados preliminares e retiradas conclusões.

4.1. Apresentação do caso de estudo 1 - Informação geral

O caso de estudo 1 sobre o qual se procederá à análise proposta anteriormente é uma moradia localizada em Vila Nova de Gaia (Rua José Pereira Araújo, 178, Vila Nova de Gaia) no distrito do Porto (Região NUT III, Grande Porto, I2-V1) (Figura 4).



Figura 4 – Localização geográfica do edifício – Caso de estudo 1

Fonte: Google Earth (data da imagem: 26/06/2007)

Situada no interior de uma zona urbana, encontra-se numa faixa costeira inferior a 5km e a uma altitude de 86m (Quadro 5).

Trata-se um edifício geminado, que de acordo com a informação recolhida foi construído na década de 70 do século XX. Com três frentes livres, a moradia em causa apresenta fachadas a Norte, Sul e Oeste e dois pisos elevados do solo. Trata-se de um edifício de tipologia T5 com área de implantação de aproximadamente 81m². O lote contém ainda uma garagem que não fará parte do caso de estudo pois é independente da moradia (Figura 4 e 5).

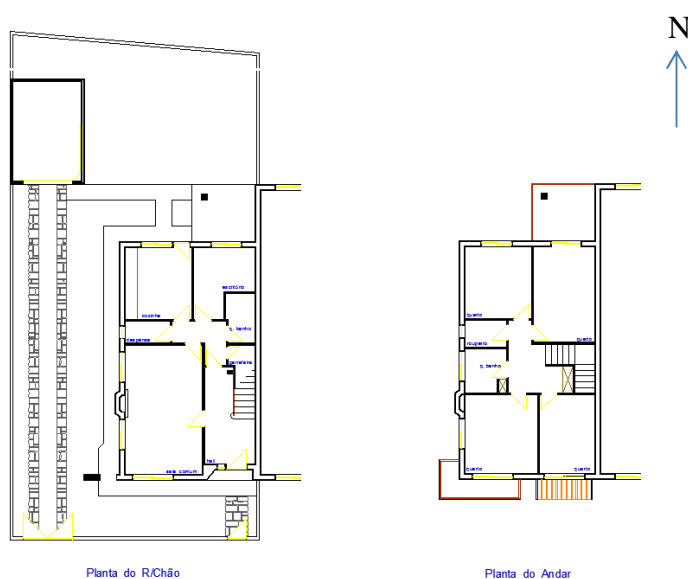


Figura 5 – Plantas do piso Rés-do-Chão e Piso 1 – Caso de estudo 1

Plantas, alçados e cortes mais completos e à escala encontram-se no ANEXO 6.

De acordo com os registos existentes do projeto, a moradia está fundada em elementos de perpianho devidamente hidrofugado e a uma profundidade que permite a estabilidade da construção. É constituída por paredes exteriores em perpianho (com 0,28m de espessura) ceresitadas, rebocadas, areadas e pintadas de cor clara. As paredes interiores são estucadas e pintadas com tinta plástica com 0,07m de espessura em tijolo cerâmico. Os elementos estruturais, designadamente, vigas, pilares e pavimento do piso elevado bem com a estrutura da cobertura são em betão armado. A cobertura de duas águas é revestida com telha tipo “Argibetão” sob a qual existe um desvão ventilado e uma laje esteira em betão armado. O revestimento do pavimento interior é alcatifa à exceção da cozinha e instalações sanitárias que são revestidas com material lavável e impermeável. A caixilharia exterior é em madeira e os vidros simples. Existem caixas de estores exteriores.

Quadro 5 - Localização e Características do edifício – Caso de estudo 1

Localização	
Edifício situado no município: Vila Nova de Gaia	Região NUTS III: Grande Porto
Região: B	Distância à costa: inferior a 5km
Edifício situado no interior de uma zona urbana	Altitude do local: 86m
Características	
Rugosidade: I	
Tipologia: T5	Classe de Inércia Térmica do Edifício: Forte
Área útil de Pavimento: 144,50 m ²	Pé-direito médio: 2,80 m

Tendo em consideração os elementos construtivos da envolvente exterior (paredes em pedra), dos elementos construtivos interiores e sua respetiva massa verifica-se que se trata de um edifício de Inércia Forte (Despacho RCCTE.03 da Proposta de revisão do RCCTE de 2012).

4.1.1. Determinação das Necessidades de Energia Útil e Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária

Com o intuito de calcular as Necessidades Energéticas do edifício existente e dessa forma avaliar as medidas de melhoria eventualmente implementadas foi necessário caracterizá-lo do ponto de visto térmico e construtivo. Um edifício deve ser caracterizado, do ponto de vista térmico, considerando a envolvente (opaca e transparente), os sistemas (equipamentos de climatização e AQS) e eventuais fontes de produção de energia renovável.

A envolvente opaca de um edifício inclui diferentes elementos construtivos, quer na designada envolvente exterior, quer na envolvente interior. Um edifício é constituído por todos ou alguns dos elementos: Paredes (exteriores e interiores), Pavimentos (exteriores e interiores), Coberturas (exteriores e interiores), Vãos Opacos (exteriores e interiores), Pontes térmicas lineares (exteriores e interiores) e Elementos em contacto com o solo (paredes enterradas, pavimentos enterrados, pavimentos térreos)

Neste caso de estudo a envolvente opaca apenas inclui: paredes e coberturas pertencentes à envolvente exterior, parede interior (parede adjacente ao edifício contíguo), vão opaco exterior (portas), pontes térmicas lineares na envolvente exterior e pavimento térreo. Apresentam-se abaixo as características destes elementos.

Paredes Exteriores

O valor de U, Coeficiente de Transmissão Térmica, (Quadro 7) das paredes exteriores foi determinado de acordo com a condutibilidade térmica dos materiais (Quadro 6) que a constituem e a Equação 8. Os valores retirados da publicação ITE50 do LNEC (SANTOS e MARTINS, 2006).

Quadro 6 - Características - Paredes exteriores – Caso de estudo 1

Elemento: Parede Exterior	Espessura (m) e_i	Condutibilidade Térmica W/(m.°C) λ_i	Resistência Térmica Superficial Exterior (m².°C)/W R_{se}	Resistência Térmica Superficial Interior (m².°C)/W R_{si}
Perpeanho (Granito)	0,24	2,8	0,04	0,13
Reboco Exterior	0,02	0,8		
Reboco Interior	0,02	0,8		

$$U_i = \frac{1}{R_{se} + \sum_j R_{fj} + R_{si}} \quad (8)$$

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (9)$$

U_i -Coeficiente de Transmissão Térmica do elemento i

R_i -Resistência Térmica do elemento i com espessura e_i

Quadro 7 - Características e Coeficiente de Transmissão Térmica - Paredes exteriores

PARADES EXTERIORES	Orientação	Cor	Fachada Ventilada?	Área	U	UREF
Descrição				m²	W/m².°C	W/m².°C
Par Ext Sul	Sul	Clara	Não	28,60	3,27	0,30
Par Ext Oeste	Oeste	Clara	Não	81,40	3,27	0,30
Par Ext Norte	Norte	Clara	Não	39,65	3,27	0,30

Cobertura Exterior

A cobertura do edifício é uma cobertura inclinada descontínua de duas águas, contudo há uma laje esteira que divide o espaço útil (habitável) do espaço não útil (desvão). A laje é constituída por uma laje de betão de 20cm e um revestimento em estuque (Quadro 8).

Quadro 8 - Coeficiente de Transmissão Térmica da cobertura – Caso de estudo 1

ELEMENTO: LAJE ESTEIRA	Espessura (m) e_i	Condutibilidade Térmica W/(m.°C) λ_i	Resistência Térmica Superficial Interior Ascendente (m².°C)/W R_{si}	Resistência Térmica Superficial Interior Descendente (m².°C)/W R_{st}
Laje de betão	0,20	2,0	0,10	0,17
Estuque interior	0,02	0,4		

ELEMENTO: LAJE ESTEIRA	Espessura (m) δ_i	Condutibilidade Térmica W/(m.°C) λ_i	Resistência Térmica Superficial Interior Ascendente (m².°C)/W R_{si}	Resistência Térmica Superficial Interior Descendente (m².°C)/W R_{si}
Coeficiente de Transmissão Térmica (Ascendente)		2,86 W/m².°C		
Coeficiente de Transmissão Térmica (Descendente)		2,04 W/m².°C		

Considerando o coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , (previsto no Despacho RCCTE.03) para espaços não úteis de 0,8 então a laje esteira terá requisitos de envolvente exterior. Este procedimento permite dispensar o cálculo das pontes térmicas lineares através de elementos da envolvente interior em contacto com espaços não úteis. Considerando as equações (8) e (9) e as Resistências Térmicas Superficiais apresenta-se o Coeficiente de Transmissão Térmica (Ascendente e Descendente) da laje esteira (Quadro 9)

Quadro 9 - Características e Coeficiente de Transmissão Térmica da cobertura – Caso de estudo 1

COBERTURAS EXTERIORES	Área	Cor	$U_{ascendente}$	$U_{descendente}$	U_{REF}
Descrição	m²		W/m².°C	W/m².°C	W/m².°C
Laje esteira (tau>0,7)	74,67	Escura	2,85	2,04	0,25

Pavimentos Têrreos

O pavimento térreo é constituído por uma laje de betão (20cm) com uma betonilha de 2cm e um revestimento cerâmico de 2cm em todo o pavimento. As condutibilidades térmicas dos materiais que o constituem foram retiradas da publicação ITE50 do LNEC (SANTOS e MARTINS, 2006) (Quadro 10).

Quadro 10 - Resistência Térmica do pavimento térreo – Caso de estudo 1

PAVIMENTOS TÉRREOS ($z \leq 0$)	Área	Rf	Perímetro Exposto	Isolamento Perimetral?	$U_{bf,eq}$	$U_{bf,eq} REF$
Descrição	m²	m².°C/W	m		W/m².°C	W/m².°C
Pavimento Térreo	73,65	0,15	36,5	Não	0,77	0,50

Pontes Térmicas Lineares (Envolvente Exterior)

As pontes térmicas lineares foram consideradas de acordo com os valores tabelados para edifícios existentes no Despacho RCCTE.03 da Proposta de Revisão do RCCTE de 2012 (Quadro 10).

Quadro 11 - Pontes Térmicas lineares – Caso de estudo 1

LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS	Comp. B	Cálculo de acordo com?	Ψ calculado	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	Ψ	ΨREF
	m		W/m.°C					W/m.°C	W/m.°C
Fach. com pavimentos têrreos	23,15	Valores Tabelados	0,70	-	-	-	Interior	0,80	0,60

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS	Comp. B	Cálculo de acordo com?	Ψ calculado	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	Ψ	Ψ REF
	m		W/m. $^{\circ}$ C					W/m. $^{\circ}$ C	W/m. $^{\circ}$ C
Fachada com pavimento intermédio	18,00	Valores Tabelados	0,70	-	-	s/ teto falso	Interior	1,20	1,00
Fachada com varanda	7,30	Valores Tabelados	0,70	-	-	-	Interior	1,20	1,00
Fachada com cobertura	25,30	Valores Tabelados	0,70	Isol. sob/sobre o cobertura?	Sob	s/ teto falso	Interior	0,10	0,60
Duas paredes verticais em ângulo saliente	11,20	Valores Tabelados	0,50	-	-	-	Interior	0,10	0,40
Fachada com caixilharia	77,50	Valores Tabelados	0,30	Isol. contacta com a caixilharia?	Não contacta	-	Interior	0,25	0,20
Zona da caixa de estores	22,40	Valores Tabelados	0,30	-	-	-	Interior	0,30	0,20

Paredes Interiores

Na envolvente interior do caso de estudo, a parede em contacto com o edifício contíguo foi considerada idêntica à parede exterior, contudo foram consideradas as resistências térmicas superficiais interiores (Quadro 12).

Quadro 12 - Coeficiente de Transmissão Térmica da parede interior – Caso de estudo 1

PAREDES INTERIORES	Área	U	UREF
Descrição	m ²	(W/m ² . $^{\circ}$ C)	W/m ² . $^{\circ}$ C
Parede em contacto com o Edifício Adjacente	85,10	2,53	0,60

Vão Opaco Exterior

No Quadro 12 indica-se o coeficiente de transmissão térmica da porta exterior do edifício.

Quadro 13 - Coeficiente de Transmissão Térmica da porta exterior – Caso de estudo 1

VÃOS OPACOS EXTERIORES	Orientação	Cor	Área m ²	Pala horizontal α°	Pala vertical à esquerda $\beta_{\text{esq}}^{\circ}$	Pala vertical à direita $\beta_{\text{dir}}^{\circ}$	U W/m ² . $^{\circ}$ C	UREF W/m ² . $^{\circ}$ C
Descrição								
Porta principal	Sul	Média	4,20	46,9	0	0	2,17	1,90

Vão Envidraçados Exteriores

No que diz respeito à envolvente transparente, não foi possível concluir relativamente ao tipo de vidro, caixilharia e persianas originais, contudo sendo o edifício da década de 70, e considerando os sistemas construtivos mais comuns da altura, foi considerado um vidro simples sem quadriculado, caixilharia em madeira sem classificação, persianas de cor clara e permeabilidade elevada nas caixas de estores (Quadro 14).

Quadro 14 - Coeficiente de Transmissão Térmica dos envidraçados – Caso de estudo 1

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Orientação	Área	Tipo de vidro	Obstrução do Horizonte α°	Pala horizontal α°	Pala vertical à esquerda β_{esq}°	Pala vertical à direita β_{dir}°	U _w	UREF
Descrição		m ²						W/m ² .°C	W/m ² .°C
Env Sul 1	Sul	0,70	Simples	45	46,9			5,10	1,90
Env Sul 2	Sul	4,10	Simples	45	34,5			3,90	1,90
Env Sul 3	Sul	6,60	Simples	45	0			3,90	1,90
Env Oeste	Oeste	7,92	Simples	45	0			3,90	1,90
Env Norte 1	Norte	1,65	Simples	45	68,3			3,90	1,90
Env Norte 2	Norte	3,15	Simples	45	66,6			3,90	1,90
Env Norte 3	Norte	4,98	Simples	45	0			3,90	1,90
Claraboia	Horizontal	0,36	Simples	45	0			5,10	1,90

O coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados simples com caixilharia de madeira e caixa de estore com permeabilidade ao ar elevada é, de acordo com o ITE 50, de 3,90 (SANTOS e MARTINS, 2006). A descrição Env. Sul 1 diz respeito a um elemento vertical envidraçado que não possui dispositivo de oclusão noturna pelo que o U_w é de 5,10. Também o elemento claraboia não possui tal dispositivo sendo o U_w igualmente 5,10 W/m².°C.

Tendo em consideração a localização do edifício, localização urbana, foi considerado o ângulo do horizonte de 45°. A moradia em estudo tem varandas (pala horizontal) nas fachadas norte e sul que sombreiam alguns envidraçados. Foram determinados os ângulos α respetivos de cada vão de acordo com a Figura 6.

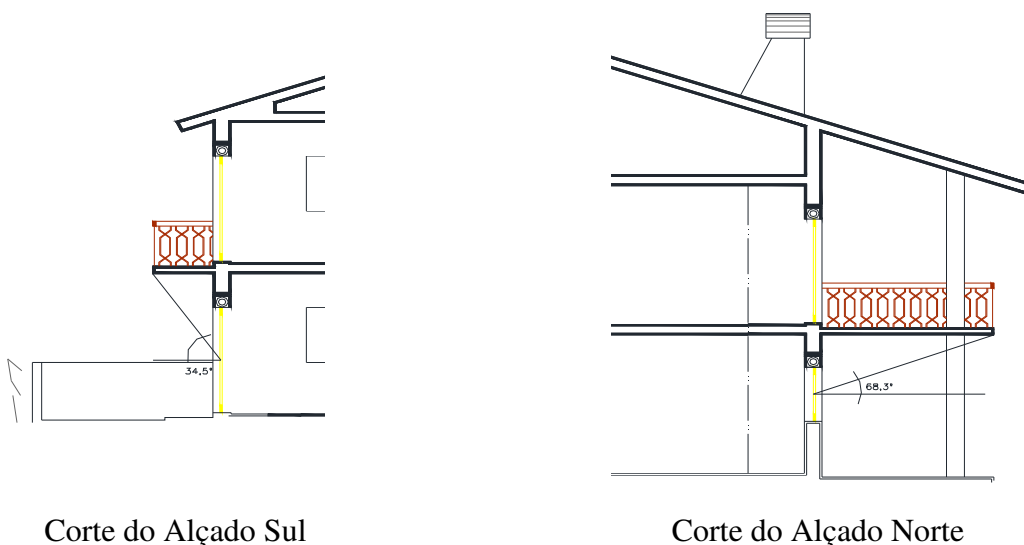


Figura 6 – Esquema representativo (sombreamentos verticais) – Caso de estudo 1

As assunções acima permitiram determinar os parâmetros e fatores abaixo apresentados (Quadro 15).

Note-se que de acordo com o “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico” mais de 70% dos edifícios habitacionais têm envidraçados com vidro simples (INE, I.P./DGEG, 2011).

Quadro 15 - Características do vão envidraçado – Caso de estudo 1

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Orientação	Classe da Caixilharia	Permeabilidade da Caixa de Estore	Fração Envidraçada Fg	Fator Solar (FS) vidro gvi	FS Global Prot. Móveis e Fixas Ativadas gTm+f	FS Global Prot. Fixas Ativadas gTf	FS de Verão gv	FS de Verão de Referência gv REF
Env Sul 1	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,65	0,88	0,07	0,70	0,32	0,40
Env Sul 2	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,65	0,88	0,07	0,70	0,32	
Env Sul 3	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,65	0,88	0,07	0,70	0,32	
Env Oeste	Oeste	Sem classificação	Perm. Alta	0,65	0,88	0,07	0,70	0,32	
Env Norte 1	Norte	Sem classificação	Perm. Alta	0,65	0,88	0,07	0,70	0,70	
Env Norte 2	Norte	Sem classificação	Perm. Alta	0,65	0,88	0,07	0,70	0,70	
Env Norte 3	Norte	Sem classificação	Perm. Alta	0,65	0,88	0,07	0,70	0,70	
Claraboia	Horizontal	Sem classificação	Não tem	0,65	0,88	0,07	0,70	0,13	

Sistemas

Os sistemas considerados neste edifício englobam os sistemas para aquecimento e arrefecimento ambiente, AQS e ventilação. Considerando que a habitação não dispõe de lareira (solução tradicional em Portugal para suprimir as necessidades de aquecimento pelo menos nas áreas comuns) e tendo conta a data de construção, admitiu-se que para superar as necessidades de aquecimento a fração é servida por resistências elétricas (aquecedores elétricos, rendimento 90%) (INE, I.P./DGEG, 2011). Esta era aliás a solução mais comum na década de 70, caso não houvesse lareiras, o que também era comum em zonas urbanas.

Aliás, segundo o “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico”, o aquecedor elétrico é o equipamento para aquecimento ambiente em edifícios habitacionais mais utilizado em Portugal (61,2% no período em estudo 2009/2010) logo seguido da lareira aberta (24%) (INE, I.P./DGEG, 2011). Relativamente às necessidades de arrefecimento estas consideraram-se insignificantes.

Admitiu-se ainda um esquentador (a gás natural com rendimento de 87,4%) para aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) que ainda segundo o inquérito acima representa 78,6% de todos os equipamentos utilizados em Portugal para AQS (INE, I.P./DGEG, 2011).

Não existe na fração qualquer sistema de produção de energia proveniente de fontes renováveis.

No que diz respeito à ventilação verifica-se que se trata de um edifício protegido com 3 fachadas expostas ao exterior com uma altura de referência de 8,75m e com um volume de 405m³.

Admitiu-se que não existe qualquer ventilação mecânica, sendo o edifício apenas sujeito a ventilação natural (sem condutas), sendo ainda possível o arrefecimento noturno na estação de arrefecimento. A taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento calculado de acordo com a regulamentação foi 0,6 l/h. Para a estação de arrefecimento o valor determinado foi de 2 l/h.

No Quadro 16, abaixo, apresenta-se a síntese das características geométricas, construtivas e energéticas que permitem determinar a classe energética da moradia existente em estudo.

Quadro 16 - Classe Energética e Nic, Nvc, Qa, Ntc/Nt – Caso de estudo 1

Síntese	Ap (m2)	144,5	Pd (m)	2,80
	Aenv (m2)	29,46	Classe Inércia Térmica	Forte
			Cálculo	Referência
	Aenv/Ap		20%	20%
A - Transmissão	Hext (W/°C)	906,1		251,1
	Hint (W/°C)	164,4		40,8
	Hecs (W/°C)	56		37
	Htr (W/°C)	1126,9		328,8
B - Ventilação	Rph,i (h-1)	0,60		0,60
	Hve,i (W/°C)	82,5		82,5
	Rph,v (h-1)	2,00		-
	Hve,v (W/°C)	275,1		-
C - Ganhos Aquecimento	Qint,i (kWh/ano)	2820		2820
	Qsol,i (kWh/ano)	2349		0
	Qg,i (kWh/ano)	5169		2820
D - Ganhos Arrefecimento	Qint,v (kWh/ano)	1692		-
	Qsol,v (kWh/ano)	4826		-
	Qg,v (kWh/ano)	6518		6235
E - Energia nominal para Aquecimento	Qtr,i (kWh/ano)	44176		12889
	Qve,i (kWh/ano)	3236		3236
	η_i	0,92		1,00
	Qgu,i (kWh/ano)	4751		2820
	Nic (kWh/m ² .ano)	295		92
F - Energia para Arrefecimento	Qtr,v (kWh/ano)	19797		-
	Qve,v (kWh/ano)	4833		-
	η_v	0,80		0,68
	Qg,v (kWh/ano)	6518		

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

	Nvc (kWh/m ² .ano)	9	14
G - Energia Global	Aquecimento (kWhEP/m ² .ano)	549,05	71,93
		94%	63%
	Arrefecimento (kWhEP/m ² .ano)	0,00	12,45
		0%	11%
	feh	1,00	1,00
	Qa/AP (kWh/m ² .ano)	24,68	24,68
	AQS (kWhEP/m ² .ano)	33,44	30,09
		6%	26%
	Vent. Mecânica (kWhEP/m ² .ano)	0,00	0
		0%	0%
	Eren (kWh/ano)	0	0
	Renovável (kWhEP/m ² .ano)	0,00	0
		0%	0%
	Global (kWhEP/m ² .ano)	582,49	114,48
CLASSE ENERGÉTICA	Ntc/Nt	5,09	G

4.1.2. Variantes Analisadas – Caso de estudo 1

Foi necessário definir melhorias nas três opções em que se pode intervir numa reabilitação energética: Envolvente (opaca e transparente), Sistemas e fontes de produção de Energia Renovável.

Na envolvente opaca, nomeadamente nas paredes exteriores foi utilizado o sistema ETICS com diferentes isolantes: EPS (de 40, 50, 60, 80, 100, 120 e 140mm de espessura), o XPS (de 60, 100 e 140mm de espessura) e o PIR (de 40 e 50mm de espessura) (Quadro 17).

A utilização do sistema ETICS permite reduzir, para edifícios semelhantes a este (moradia geminada com 2 pisos) o Nic na ordem dos 21% a 25% e apesar destes valores terem sido determinados com diferentes elementos construtivos da envolvente opaca, o fato deste edifício ser em pedra, ou seja com inercia térmica maior, ainda acentuaria estas reduções. (RODRIGUES, 2011) Por outro lado o sistema de fachada ventilada permite reduzir o Nic em percentagens maiores (23% a 26%) mas o seu custo por m² é bastante mais significativo que o sistema ETICS (30-40€/m² para ETICS e 90-110€/m² em fachada ventilada, valores médios) (RODRIGUES, 2011). Assim, optou-se por escolher o sistema ETICS.

Relativamente à cobertura inclinada de duas águas com uma laje esteira que a separa do espaço habitável, recorreu-se à solução de colocar sobre a laje esteira placas rígidas de XPS (espessuras de 40, 50, 60, 80, 100, 120 e 140mm) e de PIR (espessuras de 40,50, 60 e 140mm) (Quadro 17).

Os isolantes considerados a aplicar no pavimento térreo foram o XPS e o PIR com espessuras entre os 30mm e 140mm para o XPS e espessuras de 40, 50, e 140mm para o PIR, (Quadro 17) no entanto a bibliografia encontrada sobre o tema apenas permitiu identificar placas rígidas com espessuras até 80mm. Este facto levaria a concluir que seria necessário utilizar várias placas sobrepostas para alcançar a espessura desejada de 140mm (TEXSA, 2012) e (MASTERBLOCK, 2012).

As variantes analisadas tiveram em consideração a manutenção dos elementos construtivos quer da parede adjacente ao edifício contíguo (Envolvente Interior) quer dos vãos opacos exteriores. Como tal mantêm-se as características para o cálculo térmico destes elementos. As pontes térmicas lineares são também iguais ao edifício existente uma vez que a solução de caixa de estore e a arquitetura, nomeadamente a abertura de vãos, se mantiveram.

Quadro 17 - Envoltente Opaca: Coeficiente de transmissão térmica

Elemento construtivo	U – Coeficiente de Transmissão Térmica (W/m ² .°C)	
Pavimento Térreo	0,15 -0,42	
Paredes Exteriores (ETICS)	0,16- 0,75	
Cobertura Inclinação (isolamento sob laje esteira)	U ascendente	U descendente
	0,16-0,70	0,16-0,64

As medidas de melhoria estudadas para a envolvente transparente passaram por considerar duas opções. Caixilharia em alumínio e em plástico (PVC), ambas com corte térmico e vidro duplo (corrente, espessura da lâmina de ar de 16mm) e persianas de cor clara. O tipo de envidraçado considerado foi simples e a janela de correr (Quadro 18). Foram utilizadas janelas de correr pois era o sistema já utilizado no edifício existente e porque as janelas de abrir, quando abertas ocupam espaço interior relevante, nomeadamente em edifícios existentes onde as áreas interiores não são em geral grandes.

Quadro 18 - Envoltente Transparente: Coeficiente de transmissão térmica

CAIXILHARIAS		U _{wdn} [W/(m ² .C)](com oclusão noturna -persiana)	U _w [W/(m ² .C)] (sem ocupação noturna)
Madeira	vidro simples	3,9	5,1
Alumínio c/ Corte Térmico	vidro duplo	2,5	3,3
PVC c/ Corte Térmico	vidro duplo	2,1	2,7

Por outro lado um levantamento fotográfico da zona permitiu verificar que as janelas de correr estão presentes na grande maioria das habitações e como tal esta solução integra-se nesse contexto. Foi

ainda considerada a solução de reabilitar a caixilharia de madeira existente no sentido de avaliar a sua importância e influência comparativamente às restantes variantes.

As soluções estudadas para aquecimento, arrefecimento e AQS tiveram em consideração sistemas eficientes com um tempo de vida útil de 20 anos e que se apresentam de seguida.

Foi considerada uma bomba de calor (ar-ar) tipo Rooftop e utilizados 12 termoventiladores (fan coil's) que permitem distribuir, por ar, a energia de aquecimento e arrefecimento pelas divisões da fração (Quadro 19). De acordo com a Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, na Tabela II.07 (ANEXO 3) a bomba de calor (unidades com permuta ar-ar) tem que cumprir os requisitos mínimos abaixo, o que se verifica neste caso:

$$3,2 > \text{COP} \geq 3,0 \text{ (Classe C)}$$

$$2,8 > \text{EER} \geq 2,6 \text{ (Classe C)}$$

Quadro 19 - Sistemas: Bomba de Calor (Aquecimento, Arrefecimento e AQS)

Equipamento	Fonte de Energia	COP/EER	Marca/Referencia
Bomba de Calor	Eletricidade	3,5/2,9	Space IPF-90 "CIAT"

(CYPE, 2012)

Relativamente ao AC, foi selecionado um sistema de AC centralizado Multisplit com 2 unidades exteriores e 8 unidades interiores (uma por cada quarto, 5 unidades, duas na sala e uma no hall) (Quadro 20).

Os equipamentos de Ar condicionado MultiSplit cumprem os requisitos mínimos exigidos pela Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012 (Tabela II.05). Assim, $3,4 \geq \text{COP} > 3,2$ e $3,0 \geq \text{EER} > 2,8$ (Classe C) (ANEXO 3).

Quadro 20 - Sistemas: Ar condicionado (Aquecimento e/ou Arrefecimento)

Equipamento	Fonte de Energia	COP/EER	Marca/Referencia
Ar condicionado MultiSplit (unidade com permuta ar-ar)	Eletricidade	4,79/4,02 Classe A	MITSUBISHI MXZ-4B71VA (2 unidades exteriores) MSZ GE25VA (8 unidades interiores)

(MEGACLIMA, 2012) e (VULCANO, 2012)

Foi selecionada uma caldeira mural corrente no mercado com um rendimento de 92% e utilizados radiadores (1 em cada quarto, WC e cozinha, e 2 na sala e hall, num total de 12 unidades) que permitem distribuir, por água, a energia de aquecimento pelas divisões da fração (Quadro 21). De acordo com a Portaria Técnica a caldeira tem que cumprir requisitos mínimos de eficiência energética, ou seja ser de classe (pelo menos) B com rendimento entre 86% e 89% (Tabela II.010 da Portaria Técnica). Optou-se

por uma caldeira de Classe A. No ANEXO 3 encontram-se as tabelas referidas e constantes na Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012.

Quadro 21 - Sistemas: Caldeira Mural (Aquecimento e/ou AQS)

Equipamento	Fonte de Energia	Rendimento nominal	Marca/Referencia
Caldeira Mural	Gás natural	92%	Vulcano Gama Lifestar

(VULCANO, 2013)

Foram considerados sete aquecedores elétricos móveis com um rendimento de 90% (Quadro 22).

Quadro 22 - Sistemas: Aquecedor Elétrico (Aquecimento)

Equipamento	Fonte de Energia	Rendimento nominal	Marca/Referência
Aquecedores/Resistência	Eletricidade	90%	Sem marca

(CYPE, 2012)

Para aquecimento de águas quentes sanitárias foi considerado um esquentador corrente a gás natural (Quadro 23).

Quadro 23 - Sistemas: Esquentador (AQS)

Equipamento	Fonte de Energia	Rendimento/COP	Marca/Referência
Esquentador	Gás natural	87,4%	Vulcano WRDG Click HDG

(VULCANO, 2013)

Outro equipamento estudado para AQS foi o termoacumulador a gás natural. A opção de um equipamento de acumulação a gás natural deve-se ao facto, de apesar do rendimento típico de um equipamento elétrico ser maior (mínimo de 90% de acordo com a Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012) que de um equipamento a gás natural, para efeitos de conversão de energia primária, o fator de conversão de energia elétrica é maior (2,5, comparativamente ao gás natural de 1,0) o que penaliza o edifício na vertente energética. O equipamento selecionado permite um grande volume de água quente num curto espaço de tempo e é apropriado para habitações com vários pontos de tiragem como a habitação em estudo (vivenda de média dimensão) (VULCANO, 2013) (Quadro 24).

Quadro 24 - Sistemas: Termoacumulador (AQS)

Equipamento	Fonte de Energia	Rendimento/COP	Marca/Referência
Termoacumulador (290L)	Gás natural	85%	Vulcano Gama S S290K

(VULCANO, 2013)

Todas as características técnicas dos equipamentos em estudo se encontram no ANEXO 4.

No edifício habitacional em causa considerou-se que pelas características, geográficas, geométricas, construtivas e de utilização este não necessita de ventilação mecânica.

A outra vertente de uma reabilitação energética está ligada aos sistemas de produção de energia renovável e nesta dissertação foram estudados três dos sistemas mais implementados e conhecidos no mercado nacional: Sistemas solar térmicos, painéis fotovoltaicos e caldeiras a biomassa.

Quanto aos sistemas solar térmicos optou-se pela utilização de uma marca nacional e recorreu-se ao software de cálculo SOLTERM 5.0. O kit selecionado, após várias simulações para garantir o menor custo de investimento (em €/m² de painel), foi Kaplan 2.0. Contudo este kit não é nacional, pelo que se optou pelo segundo equipamento mais económico o kit Norquente N2 - N300L (com certificação CERTIF) (LNEG, 2012) e (AGUAQUENTESOAR, 2012).

Tendo em consideração que se trata de um T5 (6 utilizadores) foi considerado um depósito de 300L (com interior em PVC) a 60°C com permutador em serpentina pressurizado e um sistema de apoio de gás natural. O perfil de consumo dos 240L necessários foi distribuído entre as 6h e 10h e entre as 17h e 21h de forma igual ao longo do ano.

No que diz respeito aos painéis fotovoltaicos foram considerados os painéis fotovoltaicos Siemens M75S organizados em vários 'strings' com 2 módulos em cada e ligados à rede de baixa tensão.

A caldeira de biomassa considerada tem sistema de alimentação automático e é da marca ATMOS DC21P (LAREIRAS CARVALHO, 2013) com um rendimento de 91%.

Resumo das soluções e variantes selecionadas

Todas as soluções e variantes selecionadas e apresentadas seguem a forma:

SOLi;

Env_ISOLANTE Espessura+Cob_ISOLANTE Espessura+PT_ISOLANTE
Espessura+Vidr_U+EQUIPAMENTO Inv+EQUIPAMENTO Ver+ EQUIPAMENTO
AQS+REN_EQUIPAMENTO;

Em que:

SOLi – Solução número i

Env-Envolvente Opaca – Paredes (isolante térmico e respetiva espessura em mm)

Cob- Envolvente Opaca – Cobertura (isolante térmico e respetiva espessura em mm)

PT – Envolvente Opaca -Pavimento Térreo (isolante térmico e respetiva espessura em mm)

Vidr – Envolvente Transparente - Caixilharia e vidros (coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados e caixilharia em W/ (m²°C))

Sist – Sistemas ou conjunto de equipamentos

Equipamento Inv – Equipamento de Aquecimento e respetivo rendimento ou COP

Equipamento Ver - Equipamento de Arrefecimento e respetivo rendimento ou EER

Equipamento AQS - Equipamento de Aquecimento de Águas Quentes Sanitárias e respetivo rendimento

E – Equipamento cuja fonte de energia é Eletricidade

G – Equipamento cuja fonte de energia é Gás natural

B – Equipamento cuja fonte de energia é Biomassa

REN – Fontes de energia renovável e respetiva área (m²) ou rendimento

Tendo em consideração o sistema assim definido a solução 1 pode ser apresentada como SOL1 e a variável VAR0 pode ser apresentada da seguinte forma:

Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E 0,9+AC_E 4,02+Esq_G 0,874

Por forma a simplificar a leitura no Quadro 25 e Quadro 26 apresentam-se as Soluções e Variantes analisadas neste Caso de Estudo.

Quadro 25 - Resumo das soluções seleccionadas a estudar no Caso de estudo 1

Envolvente opaca e transparente		Elemento construtivo				U – Coeficiente de Transmissão Térmica (W/m².°C)	
		Pavimento Térreo ¹⁾				0,15 -0,42	
		Paredes Exteriores (ETICS)				0,16- 0,75	
		Cobertura Inclinada (isolamento sob laje esteira)				U ascendente	U descendente
						0,16-0,70	0,16-0,64
		Envidraçados				Locais com ocupação noturna	Locais sem ocupação noturna
2,1-2,5	2,7-3,3						
Sistemas Aquecimento, Arrefecimento e AQS)	Solução	Aquecimento		Arrefecimento		AQS	
		Equipamento	COP/R ²⁾	Equipamento	EER	Equipamento	COP/R ²⁾
	1	Aquecedor	0,90	AC	4,02	Esquentador	0,87
	2	Caldeira Mural+Radiadores	0,92	AC	4,02	Caldeira Mural	0,92
	3	Bomba de Calor +Termoventiladores	3,50	Bomba de Calor +Termoventiladores	2,90	Bomba de Calor	3,50
	4	AC	4,79	AC	4,02	Esquentador	0,87
	5	AC	4,79	AC	4,02	Termoacumulador	0,85
	6	AC	4,79	AC	4,02	Biomassa	0,91
Energia Renovável		Equipamento	Marca/Referência			Área (m²)	
		Painel Solar Térmico	kit Norquente N300L			5,7/9,6	
		Painel fotovoltaico	Siemens M75S AC			11,2/44,8	
		Caldeira Biomassa	ATMOS DC21P			-	

¹⁾ Interpolado de acordo com o despacho RCCTE.02, Tabela RCCTE.02.03

²⁾ Rendimento

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Abaixo é possível identificar as variantes estudadas e no ANEXO 7 os valores de Nic, Nvc, Nac e Ntc calculados para cada uma.

Quadro 26 - Resumo das variantes estudadas - Caso de estudo 1

Variante	Descrição
VAR0	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2.5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR01	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2.5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR02	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2.5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR03	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2.1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR04	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR05	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR06	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02
VAR07	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02
VAR08	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02
VAR09	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR10	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR11	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR12	Env_EPS50+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR13	Env_EPS40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR14	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR15	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11.2
VAR16	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11.2
VAR17	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11.2
VAR18	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7
VAR19	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7
VAR20	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02+RenST5,7m2
VAR21	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7+RenFV11,2
VAR22	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7+RenFV11,2
VAR23	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02+RenST5,7+RenFV11,2
VAR24	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR25	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR26	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02
VAR27	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR28	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02+RenST5,7
VAR29	Env_PIR50+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR30	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR31	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR32	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02
VAR33	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR34	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02+RenST5,7
VAR35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR36	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Variante	Descrição
VAR37	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR38	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR39	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR40	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7
VAR41	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR42	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7
VAR43	Env_PIR40+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR44	Env_EPS100+Cob_XPS100+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR45	Env_EPS100+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR46	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR47	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR48	Env_EPS120+Cob_XPS100+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR49	Env_EPS120+Cob_XPS40+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR50	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS40+Vidr_U3,9+BombCalorE3,5/2,9
VAR51	Env_EPS40+Cob_0+PT_0+ Vidr_U3,9+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR52	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR53	Env_EPS40+Cob_PIR40+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9
VAR54	Env_EPS40+Cob_PIR40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR55	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR56	Env_EPS120+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR57	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874
VAR58	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874
VAR59	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874
VAR60	Env_EPS120+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR61	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874
VAR62	Env_EPS60+Cob_XPS140+ PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874
VAR63	Env_EPS100+Cob_XPS140+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874
VAR65	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874
VAR66	Env_EPS100+Cob_XPS120+PT_XPS140+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02
VAR67	Env_EPS120+Cob_XPS100+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR68	Env_EPS80+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR69	Env_EPS140+Cob_XPS120+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR70	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR71	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR72	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874
VAR17A	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2
VAR17B	Env_XPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2
VAR17C	Env_XPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2+ ST5,7
VAR17D	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2 + RenST5,7
VAR81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7
VAR82	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Variante	Descrição
VAR83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenST5,7
VAR84	Env_XPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7
VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenST9,6
VAR86	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874
VAR87	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874+ RenFV44,8+ST 5,7
VAR88	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874
VAR89	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,02+ Cald_B0,91
VAR90	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,02+ Cald_B0,91
VAR91	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,02+ Cald_B0,91

Note-se que para cada solução (Quadro 25) existem várias variantes (Quadro 26).

4.1.3. Determinação dos Custos - Cálculo do custo global financeiro e macroeconómico

Os custos globais e financeiros deste edifício unifamiliar foram determinados de acordo com o especificado no ponto 3.4.

4.1.4. Análise e conclusões da avaliação comparativa das medidas implementadas

Após a implementação das diversas medidas de melhoria/variantes e aplicada a metodologia explanada no Capítulo 3, várias conclusões podem ser retiradas da análise dos resultados. São essas observações que permitirão avaliar quais as medidas ótimas, entre outras conclusões, a implementar quando se pretende reabilitar um edifício semelhante ao estudado.

Os valores dos custos e necessidades energéticas de todas as soluções encontram-se no ANEXO 7.

Na Figura abaixo é possível visualizar o gráfico que descreve a utilização de energia primária (kWh de energia primária/(m² de área útil e ano)) e os custos globais (/m² de área útil) das diversas soluções. A partir do número de medidas/variantes avaliados, pode ser elaborada a respetiva curva de custos (Figura 7).

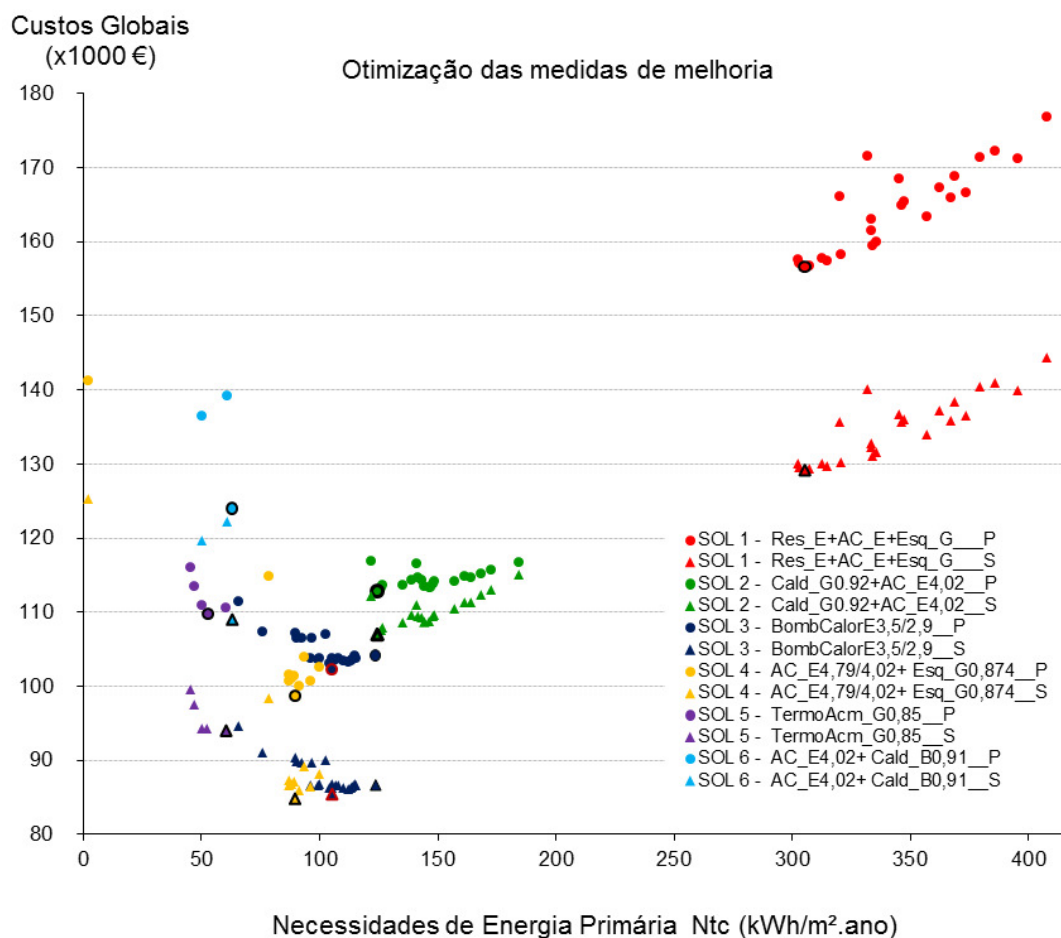


Figura 7 – Relação Custos Globais/ Ntc – Soluções e Medidas de melhoria

As variantes ótimas estão identificadas na Figura 7 com um contorno a negro ou vermelho.

Ao analisar a Figura 7 que relaciona os custos globais (perspetiva privada e social) com os consumos energéticos ao longo de 30 anos verifica-se que as variantes que incluem a SOL1 (Aquecedor elétrico, AC e Esquentador) a vermelho são as que consomem mais energia e apresentam custos muito altos, pelo que não é uma solução interessante do ponto de vista custo/benefício. Estes custos não são devidos ao investimento inicial, nem ao custo de manutenção dos equipamentos (já que estes são baixos), mas sim devido à ineficiência energética dos mesmos. Estas variantes não são interessantes do ponto de vista custo/benefício e como tal devem ser excluídas quando pretendemos escolher as melhores soluções num processo de reabilitação energética neste tipo de edifícios (habitação unifamiliar).

A variante ótima da SOL1 (Quadro 27), quer na perspetiva social quer na privada, corresponde à VAR70 que está definida como:

Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

e cujas características da envolvente se encontram no Quadro 26.

Quadro 27 - Características térmicas da envolvente da variante ótima (VAR70) - SOL1

Medida Ótima	Paredes Exteriores	Cobertura (Uasc/Udesc)	Pavimento Térreo	Envidraçados
U (W/m ² .°C)	0,26	0,24/0,23		2,1
R (m ² .°C/W)			2,85	

Quadro 28 - Resumo das variantes da SOL1 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

Solução 1	Descrição	Custos Globais - 30 anos (€)		Ntc (kWh/m ² .ano)
		Privada	Social	Total
VAR00	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	176.807	144.348	407,89
VAR01	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	172.148	140.848	385,68
VAR02	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	168.851	138.395	368,59
VAR03	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	171.214	139.808	395,50
VAR04	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	166.638	136.372	373,62
VAR05	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	163.407	133.968	356,79
VAR18	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7	168.404	136.663	345,31
VAR19	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7	162.960	132.236	333,52
VAR21	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7+RenFV10,08	171.583	140.096	332,04
VAR22	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7+RenFV10,08	166.139 €	135.670 €	320,25
VAR24	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	165.472	135.931	347,54
VAR25	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	159.969	131.460	335,51
VAR30	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	171.365	140.312	379,30
VAR31	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	165.862	135.840	367,27
VAR36	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	164.957	135.538	346,13
VAR37	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	159.446	131.061	334,07
VAR44	Env_EPS100+Cob_XPS100+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	158.173	130.208	320,44
VAR45	Env_EPS100+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	167.284	137.215	362,12
VAR48	Env_EPS120+Cob_XPS100+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	157.807	130.023	312,81
VAR49	Env_EPS120+Cob_XPS40+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	161.540	132.789	333,47
VAR67	Env_EPS120+Cob_XPS100+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	157.452	129.705	314,78
VAR69	Env_EPS140+Cob_XPS120+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	156.735	129.227	307,50
VAR70	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	156.662	129.198	305,25
VAR71	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	157.018	129.518	303,28
VAR72	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	157.612	130.020	302,25

As variáveis da SOL1 com sistemas de produção de energia cuja fonte são as energias renováveis não são as variantes com custos globais maiores, apesar do investimento inicial que estas tecnologias admitem verifica-se que podem ser interessantes do ponto de visto custo/benefício num período temporal alargado (30 anos). Se compararmos as VAR02 e VAR18 bem como as VAR05 e VAR19 verifica-se que em ambos os casos os custos globais (nas duas perspetivas) incorporando as energias renováveis são mais baixos.

É interessante observar que para as diferentes variantes da SOL1 as melhorias introduzidas na envolvente opaca, nomeadamente o tipo e espessura do isolamento térmico, influenciam o custo global (ordenadas) de forma bastante significativa (cerca de 20000€ em 30 anos). Aliás, essas melhorias têm também grande impacto (Figura 8) nas necessidades energéticas (abscissas), passando de aproximadamente 400 kWh/m².ano para 300 kWh/m².ano (redução de mais de 25%). Verifica-se assim a extrema importância da envolvente neste tipo de solução, nomeadamente a envolvente opaca.

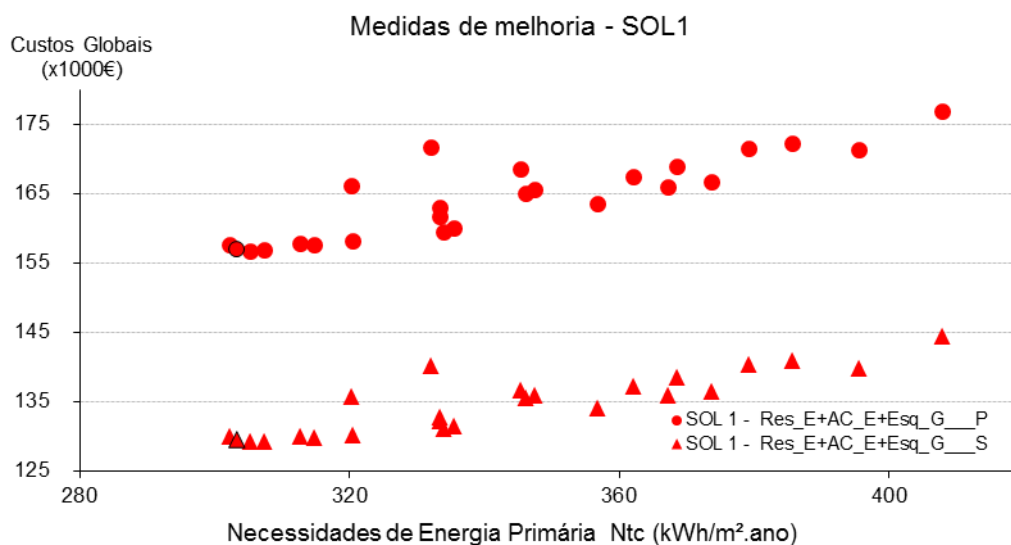


Figura 8 – Medidas de melhoria da Solução 1

A SOL2 é uma solução que considera dois equipamentos de aquecimento ambiente, designadamente a caldeira mural e o AC (Figura 9). Isto implica um aumento do custo, nomeadamente de investimento e manutenção. Para perceber as alterações que este facto incute foi testada a SOL2 considerando que as necessidades de arrefecimento não são satisfeitas, admitindo Nvc=0 e excluindo o equipamento de AC (bem como os custos a ele associados) (Figura 10). Desta forma as Nic e Nac continuam naturalmente satisfeitas pela caldeira mural.

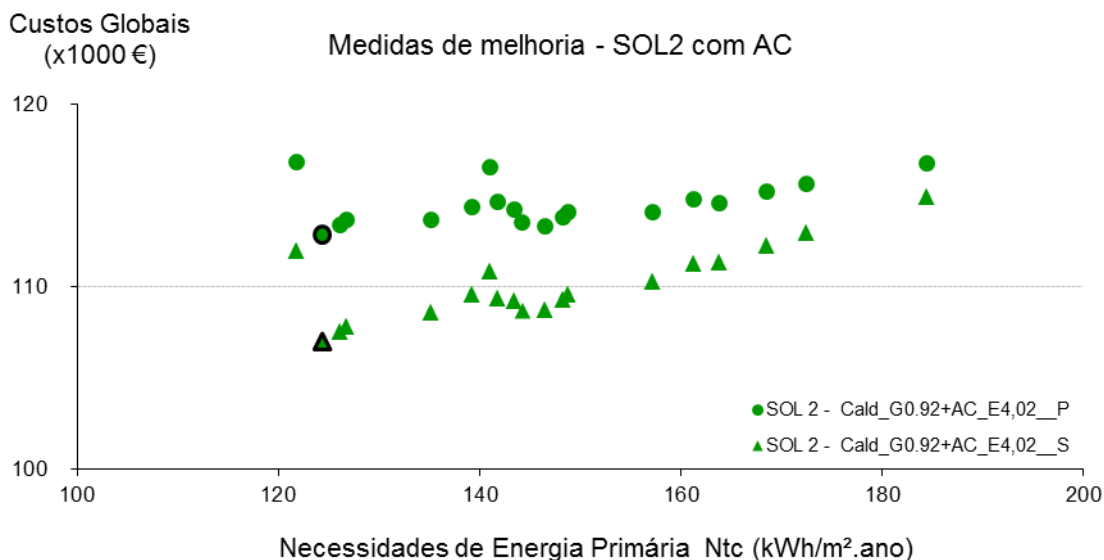


Figura 9 – Relação entre as Ntc e o Custo Global da SOL2 com Ar Condicionado

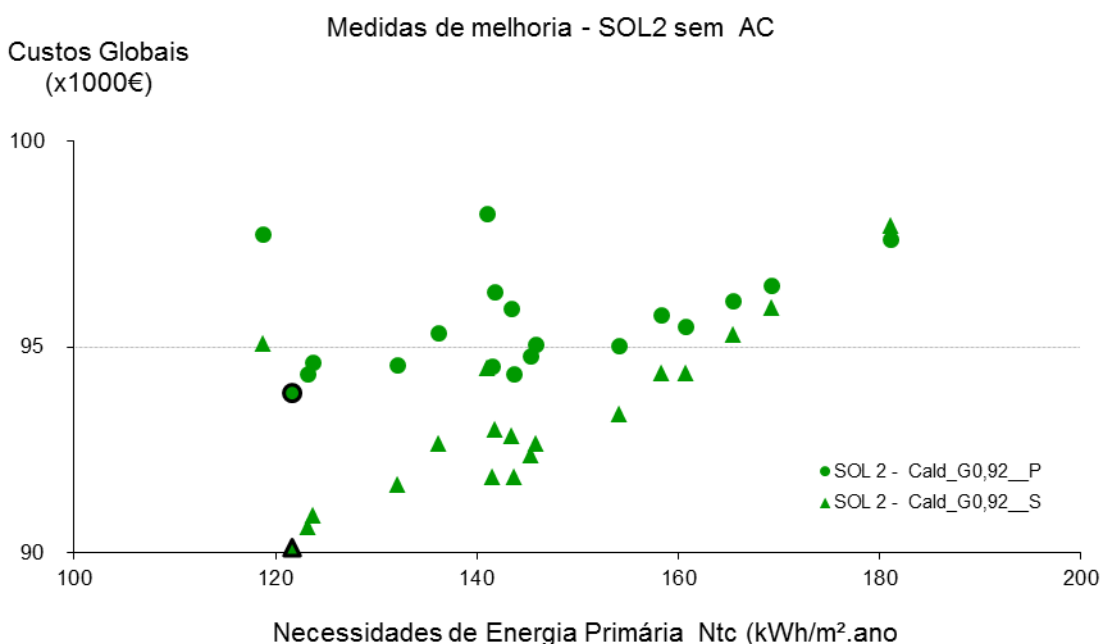


Figura 10 – Relação entre as Ntc e o Custo Global da SOL2 sem Ar Condicionado

Ao observar a Figura 9 e a Figura 10 é visível que os custos desta solução baixam cerca de 15000€ (tanto na perspetiva social como privada) ou seja uma redução no custo de investimento inicial, pelo facto de retirarmos o AC, reflete-se entre 13% a 16% de redução no custo global ao longo dos 30 anos analisados, em ambas as perspetivas social e privada.

Esta simulação permite a SOL2 aproximar-se das soluções mais interessantes, SOL 3 e 4 a amarelo e azul respetivamente na Figura 11. É pertinente constatar que a SOL2 sem AC atinge custos

globais mais baixos na perspetiva privada que a SOL3 e de facto, nesta perspetiva, é a solução à qual pertence a variante ótima.

A solução de não garantir as necessidades de arrefecimento, através a instalação de um sistema de climatização, deve ser ponderada tendo em consideração diversos fatores, nomeadamente, a zona climática onde o edifício está inserido, a sua geometria (fator de forma), a área de envidraçados e localização. É importante neste contexto garantir que não há riscos significativos de sobreaquecimento e apesar das necessidades de arrefecimento serem consideradas, quer no cálculo das necessidades energéticas, quer na atribuição do certificado energético, no âmbito do presente quadro regulamentar (RCCTE), não existe uma efetiva obrigatoriedade de instalar os equipamentos considerados para o cálculo energético.

Note-se que a variante testada sem qualquer isolamento na cobertura e laje térrea, e com os envidraçados simples com caixilharia em madeira (SOL2 - VAR51 assinalada na Figura 11) apresenta valores de necessidades energéticas muito mais elevados (cerca de 240 kWh/m²ano) que as outras variantes. Também em relação aos custos não há qualquer vantagem nesta variante já que estes são elevados, nomeadamente os sociais. Esta variante (VAR51) é a que apresenta os maiores custos globais de todas as variantes desta solução. A VAR51 apresenta características térmicas da envolvente muito elevadas com valores de coeficiente de transmissão térmica nas paredes exteriores de 0,75 W/m².°C, na cobertura de 2,86/2,04 W/m².°C e no pavimento um valor de R igual a 0,15 m².°C/W. O coeficiente de transmissão térmica do envidraçado é de 3,9 W/m².°C. Esta observação permite indicar que o isolamento térmico é uma opção imprescindível em toda a envolvente aquando de uma reabilitação energética, nomeadamente neste tipo de edifício.

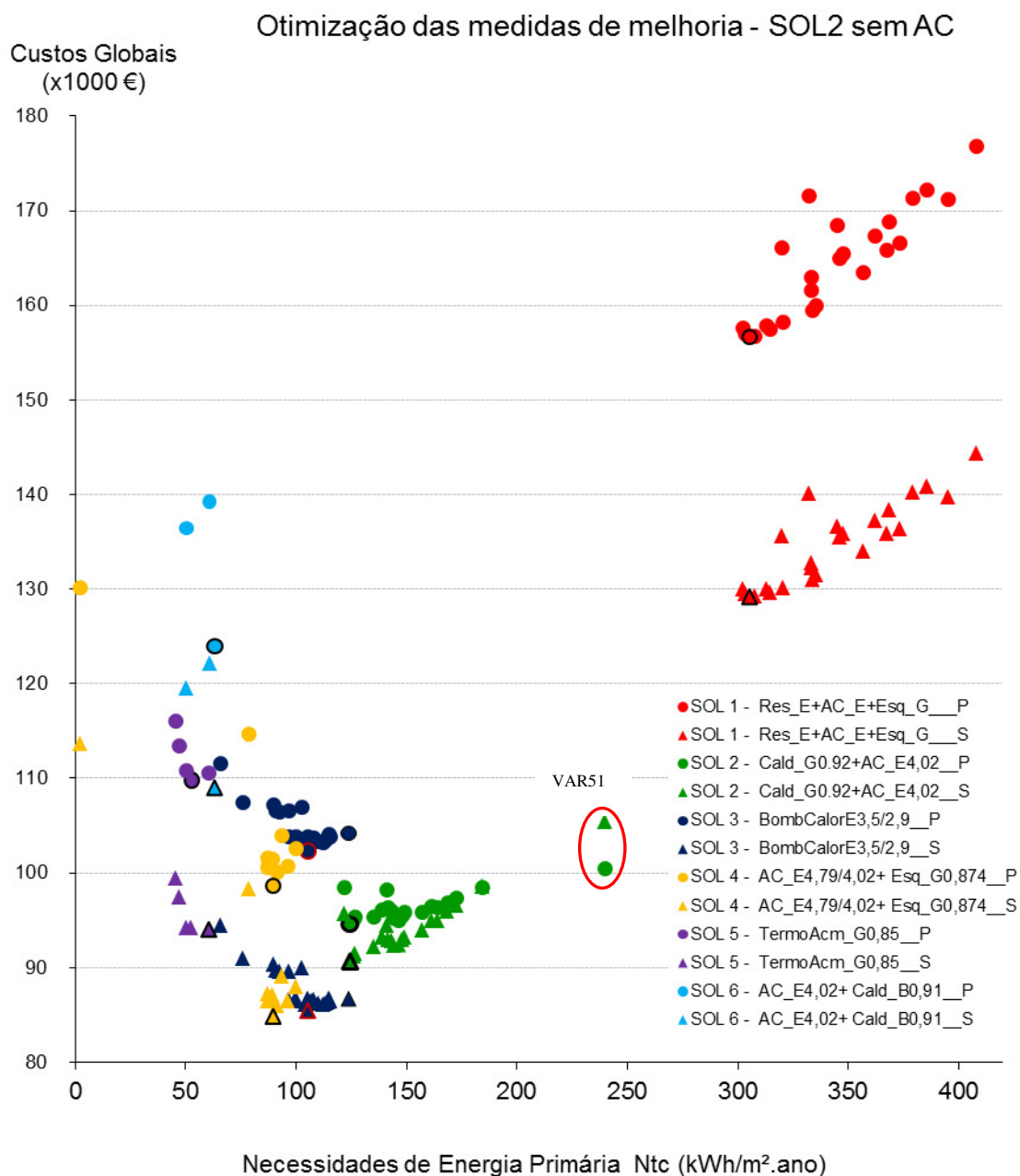


Figura 11 – Relação Custos Globais/ Ntc –Soluções e medidas de melhoria - SOL 2 sem AC

Do ponto de vista custo/benefício a variante ótima desta solução é a VAR 42, em ambos os casos, com e sem AC (Quadro 29).

Quadro 29 - Resumo das variantes da SOL 2 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

Solução 2	Descrição	Custos Globais 30 anos (€)		Nte (kWh/m ² .ano)
		Privada	Social	Total
VAR06	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	115.628	112.954	172,49
VAR07	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	114.600	111.330	163,86
VAR08	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	114.098	110.320	157,24
VAR20	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	113.651	108.588	135,12
VAR23	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7+RenFV11,2	116.830	112.022	121,85
VAR26	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	114.114	109.575	148,85
VAR28	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	113.667	107.844	126,73
VAR32	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	114.838	111.316	161,30
VAR34	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	114.391	109.584	139,18
VAR38	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	113.822	109.295	148,28
VAR40	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	113.375	107.563	126,16
VAR42	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+Ren ST5,7	112.881	107.010	124,36
VAR46	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	116.773	114.974	184,47
VAR51	Env_EPS40+Cob_0+PT_0+Vidr_U3,9+Cald_G0,92+AC_E4,02	118.805	121.767	240,09
VAR54	Env_EPS40+Cob_PIR40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	115.216	112.267	168,55
VAR55	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	113.330	108.743	146,48
VAR56	Env_EPS120+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	113.526	108.710	144,25
VAR60	Env_EPS120+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	114.237	109.216	143,42
VAR63	Env_EPS100+Cob_XPS140+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	114.636	109.364	141,77
VAR66	Env_EPS100+Cob_XPS120+PT_XPS140+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	116.534	110.866	141,05

Note-se que neste caso a variante ótima implica uma medida de reabilitação onde se inclui a fonte de energia renovável através dos painéis solares térmicos. Comparando a VAR42 com a VAR55 conclui-se que apesar do investimento inicial necessário com a introdução dos painéis solares térmicos ao longo do período temporal em análise esse investimento é compensado, quer na perspetiva social quer na privada.

As características térmicas da envolvente da VAR42 são as apresentadas no Quadro 30.

Quadro 30 - Características térmicas da Envolvente da variante ótima - SOL2

Medidas Ótimas	Paredes Exteriores	Cobertura (Uasc/Udesc)	Pavimento Térreo	Envidraçados
U (W/m ² .°C)	0,35	0,35/0,33		2,1
R (m ² .°C/W)			1,5	

Analisando a Figura 12 é visível que as SOL3, a azul, e SOL4, a amarelo, são as que se aproximam da zona ótima na curva custo/benefício. Ou seja são as soluções que para este tipo de edifício conduzem a menores custos globais.

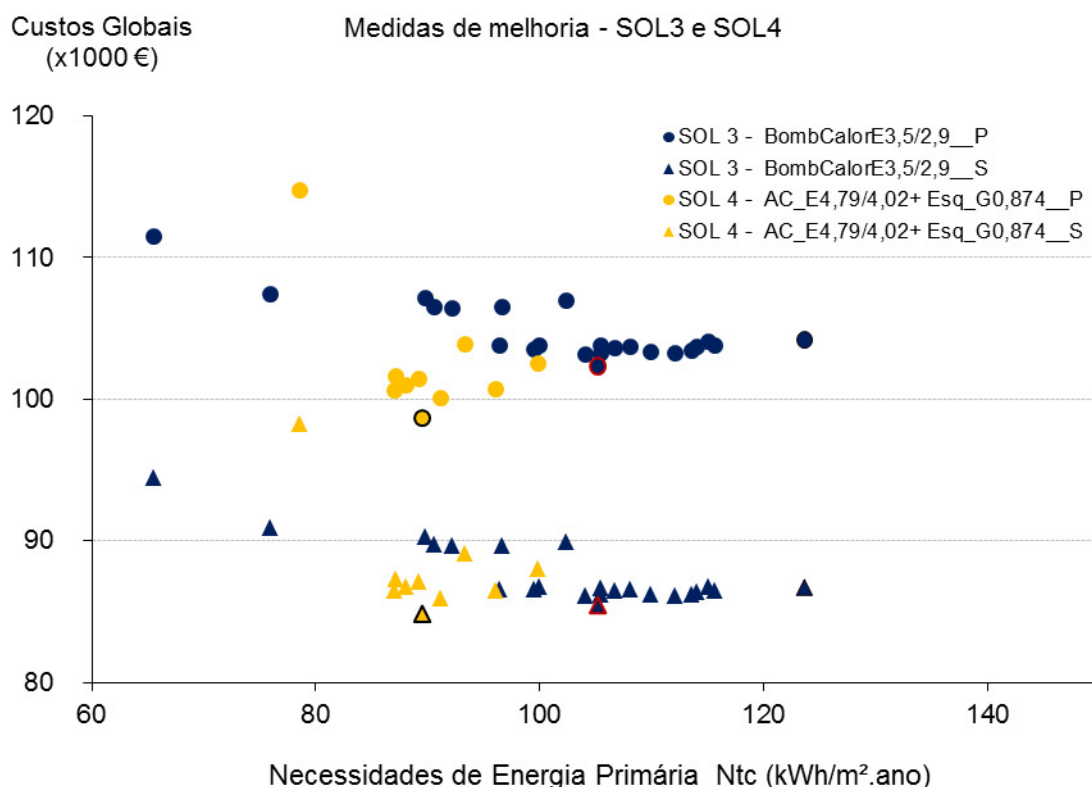


Figura 12 – Medidas de melhoria - SOL3 e SOL4

As necessidades de energia primária para estas soluções mais interessantes encontram-se entre os 65 e 125kWh/m².ano, contudo as variantes ótimas aproximam-se dos 90kWh/m².ano para o caso da SOL4 (ar condicionado para climatização e esquentador a gás para AQS) e dos 105 kWh/m².ano para a SOL3 (bomba de calor para climatização e AQS), em ambas as perspetivas (em ambas as perspetivas). Ao contrário do que acontece na SOL2, em que a variante ótima contém energias renováveis, nestas soluções tal não se verifica (Quadro 31).

Quadro 31 – Resumo das variantes da SOL3 e SOL4 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

VAR	Descrição	Custos Globais - 30 anos (€)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução3				
VAR09	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	103.811	86.512	115,69
VAR10	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	103.327	86.200	109,94
VAR11	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	103.245	86.201	105,53
VAR12	Env_EPS50+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	103.232	86.091	112,08
VAR13	Env_EPS40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	103.659	86.410	114,11
VAR14	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS50+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	104.058	86.722	115,14

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VAR	Descrição	Custos Globais - 30 anos (€)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
VAR15	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+ RenFV11.2	106.990	89.945	102,42
VAR16	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11.2	106.506	89.633	96,67
VAR17	Env_EPS60+Cob_XPS 60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+ RenFV11.2	106.424	89.634	92,26
VAR27	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	103.792	86.734	99,95
VAR29	Env_PIR 50+Cob_XPS40_PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	103.808	86.679	105,46
VAR33	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	103.711	86.554	108,16
VAR35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	102.334	85.458	105,21
VAR39	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	103.534	86.538	99,56
VAR41	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	103.800	86.586	96,49
VAR43	Env_PIR40+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	103.121	86.128	104,08
VAR47	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	104.199	86.707	123,67
VAR52	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	103.605	86.487	106,76
VAR53	Env_EPS40+Cob_PIR40+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	103.389	86.196	113,57
VAR17A	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	106.518	89.734	90,62
VAR17B	Env_XPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	107.175	90.293	89,78
VAR17C	Env_XPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2 + ST5,7	107.380	90.942	75,96
VAR17D	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2+ ST5,7	111.502	94.487	65,56
Solução4				
VAR81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	109.828	94.197	52,66
VAR82	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	113.459	97.463	47,13
VAR83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenST5,7	121.572	100.033	60,40
VAR84	Env_XPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	116.038	99.436	45,27
VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenST9,6	110.838	94.251	50,47
VAR86	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	100.036	85.927	91,23
VAR87	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874 +RenFV44,8+ST 5,7	130.180	113.633	2,25
VAR88	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	103.923	89.118	93,33
VAR57	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1 +AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	102.563	88.006	99,85
VAR58	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	100.737	86.447	96,16
VAR59	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	114.739	98.281	78,58
VAR61	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	100.620	86.484	87,10
VAR62	Env_EPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	101.424	87.101	89,21
VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1 +AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	98.674	84.842	89,53
VAR65	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	101.001	86.788	88,07
VAR68	Env_EPS80+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	101.585	87.267	87,18

É interessante verificar que ambas as variantes contemplam as mesmas medidas de reabilitação na envolvente (opaca e transparente). Este facto pode levar a concluir que essas medidas são de facto

as mais interessantes a aplicar na envolvente, independentemente dos sistemas adotados (bomba de calor ou AC e esquentador) para climatização e AQS. No entanto, é necessário ter cuidado nesta análise já que como verificado anteriormente o tipo de equipamento e energia utilizada influenciam os custos globais.

Verifica-se que a VAR64 é a medida ótima encontrada para o tipo de edifício habitacional em estudo e no Quadro 32 apresentam-se as suas características térmicas.

Quadro 32 - Características térmicas da Envolvente da variante ótima – SOL3 e SOL4

Medidas Ótimas	Paredes Exteriores EPS60	Cobertura (Uasc/Udesc) PIR40	Pavimento Térreo PIR40	Envidraçados Vidro duplo com caixilharia em PVC e corte térmico
U ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)	0,54	0,50/0,46		2,1
R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$)			1,8	

Na SOL5, variantes com termoacumulador a gás visível na Figura 13 abaixo, verificam-se valores de Ntc reduzidas, na ordem dos $50\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Do ponto de vista energético a SOL5 é interessante contudo os custos globais são sempre superiores aos das SOL3 e SOL4 e como tal não é a solução mais eficiente.

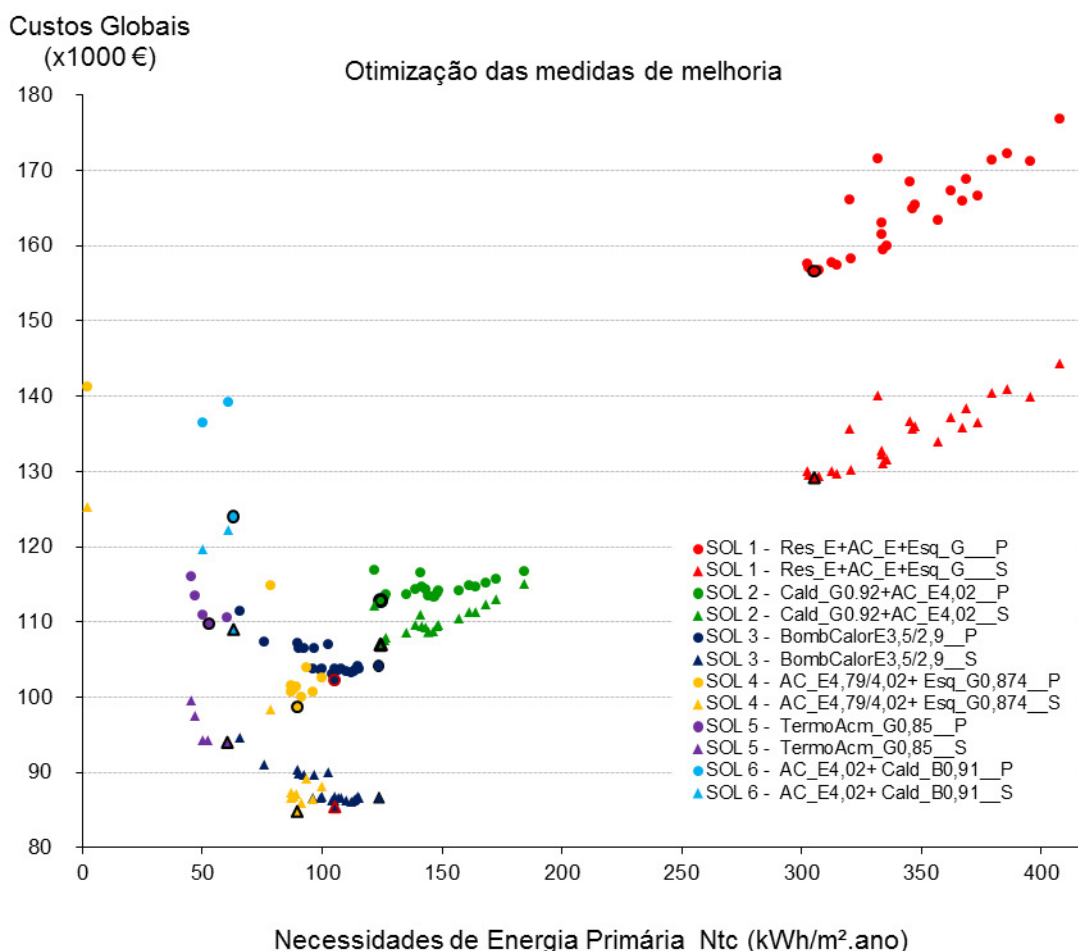


Figura 13 – Medidas de melhoria – Caso de estudo 1

As variantes ótimas da SOL5 são, na perspetiva privada a VAR81, e na social a VAR83, ambas com o recurso a energias renováveis (Quadro 33). Estas soluções afastam-se em cerca de 10000€ do custo global da VAR64. Assim, apesar do termoacumulador a gás ser uma opção interessante do ponto de vista estritamente energético, não o é do ponto de vista custo/benefício.

Quadro 33 - Resumo das variantes da SOL5 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

VAR	Descrição	Custos Globais 30 anos (€)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução5				
VAR81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	109.828	94.197	52,66
VAR82	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	113.459	97.463	47,13
VAR83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST5,7	110.516	94.030	60,40
VAR84	Env_XPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	116.038	99.436	45,27
VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST9,6	110.838	94.251	50,47

A SOL6 utiliza uma caldeira de biomassa para AQS e um sistema de AC para aquecimento e arrefecimento ambiente. Tal como é visível na Figura 14 do ponto de vista energético esta solução é muito semelhante à SOL5, mas do ponto de vista dos custos globais é menos interessante apresentando custos cerca 20000€ /30000€ maiores. É visível um afastamento da sua variante ótima relativamente à VAR64.

Após esta análise das soluções e variantes estudadas, onde se verifica que as SOL3 e 4 são as mais interessantes importa perceber se há outras variantes, nomeadamente na SOL4 que podem ser refinadas e otimizadas. Assim, foram substituídas algumas das variantes da SOL1 por variantes mais interessantes a incorporar na SOL4. Note-se que a SOL 1 (a vermelho na Figura 13) é a que apresenta resultados custo/benefício quer do ponto de vista social quer privado, menos interessantes. As variantes da SOL1 que apresentam mais baixos custos e as quais serão alteradas são as VAR 44, 48, 67, 69, 70, 71, 72 (Quadro 28).

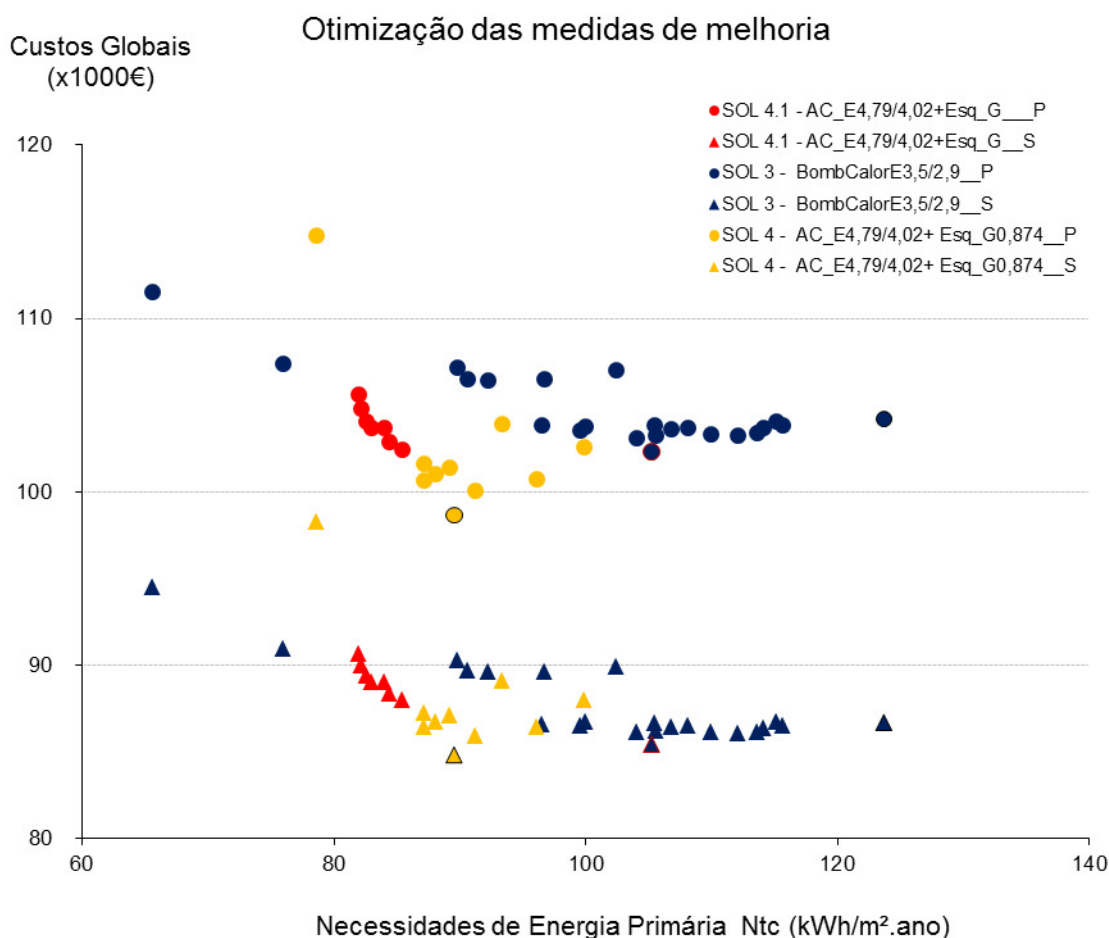


Figura 14 – Medidas de melhoria – SOL 4 (otimização)

Ao substituir o aquecedor elétrico pelo AC para aquecimento (COP=4,79, variantes a vermelho na Figura 14), o que se verifica é uma redução muito significativa da utilização de energia primária

Ntc (kWh/m².ano). Este elevado impacto deve-se unicamente à alteração do rendimento dos equipamentos de 90% para 479%, já que a fonte de energia é a mesma, eletricidade.

Por outro lado os custos globais ao longo de 30 anos também diminuem, pois apesar do custo de investimento ser um pouco superior para o equipamento AC, o custo de exploração no caso do aquecedor elétrico é significativamente mais elevado.

Verifica-se ainda que as variantes testadas com esta alteração (na Figura 14 a vermelho) apresentam-se bastante interessantes na curva custo/benefício, no entanto nenhuma das variantes alteradas conduziu à variante ótima. A VAR64 continua a ser a variante ótima.

A VAR64A é a que alia a variável 64 (mais vantajosa custo/benefício) com os sistemas de produção de energia renovável para que o edifício atinja necessidades energéticas próximas de zero (Quadro 34). Note-se que para tal é necessário utilizar painéis fotovoltaicos (área 44,8m²) e painéis solares térmicos (área de 5,7m²). No caso em estudo a cobertura dispõe de área considerável e a instalação seria possível do ponto de vista técnico e teórico, no entanto do ponto de vista arquitetónico seria discutível.

Quadro 34 – Custos Globais e Ntc da variante ótima (com e sem equipamentos de produção de energia renovável) - SOL4

VAR	Descrição	Custos Globais - 30 anos (€)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução 4				
VAR64A	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874+RenFV44,8+ST 5,7	132.286	113.873	13,20
VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	98.674	84.842	89,53

A introdução de equipamentos para produção de energia renovável para que o edifício atinja necessidades energéticas próximas de zero (13,2 kWh/m².ano) aumenta muito os custos globais, cerca de 34% em ambas as perspetivas.

A SOL6 (utilização de caldeira a biomassa) é uma solução que tem vindo a implementar-se no mercado nacional assim, com o objetivo de perceber qual a influência deste sistema na VAR64 (variante ótima) foi alterado o equipamento de AQS dessa variante (VAR64B).

Verifica-se um aumento dos custos globais em ambas as perspetivas; os custos aumentam de aproximadamente 85000€ para 98000€ (Social) e 99000€ para 111000€ (Privada), se comparadas com a VAR64 da SOL4 (Quadro 35).

Quadro 35 – Custos Globais e Ntc da SOL6 e da variante ótima (VAR64) com Caldeira Biomassa

VAR	Descrição	Custos Globais - 30 anos (€)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução 6				
VAR64B	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Cald_B0,91	111.424	98.230	26,34
VAR89	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Cald_B0,91	123.999	109.021	62,99
VAR90	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Cald_B0,91	136.435	119.512	50,34
VAR91	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Cald_B0,91	139.227	122.123	60,83

Note-se que a VAR64B é agora a variante mais interessante com o sistema de caldeira a biomassa, isto significa que a SOL6 pode ser otimizada com medidas na envolvente mas não será a solução com as variantes mais interessantes do ponto de visto custo/benefício, já que os custos globais continuam superiores à VAR64.

A SOL4 e SOL5 apenas diferem, no que diz respeito aos equipamentos, no tipo de equipamento para AQS, sendo na SOL4 o esquentador, e na SOL5 o termoacumulador (ambos a gás). Para além deste facto os rendimentos destes dois equipamentos são muito semelhantes pelo que seria expectável que a variante ótima fosse a mesma em ambas as soluções ou muito semelhante. De facto ao comparar a SOL4 com a SOL5 (considerando a SOL5 sem energias renováveis) verificamos que a envolvente da variante ótima é a mesma (Quadro 36).

Quadro 36 – Resumo das variantes da SOL4 e SOL5 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

VAR	Descrição	Custos Globais - 30 anos (€)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução 5 com Energias Renováveis				
VAR81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	109.828	94.197	52,66
VAR82	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	113.459	97.463	47,13
VAR83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST5,7	110.516	94.030	60,40
VAR84	Env_XPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	116.038	99.436	45,27
VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST9,6	110.838	94.251	50,47
Solução 5 sem Energias Renováveis				
VAR81A	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85	103.511	89.542	90,32
VAR82	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+	110.581	95.762	84,33

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VAR	Descrição	Custos Globais - 30 anos (€)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
	TermoAcm_G0,85			
VAR83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85	110.964	95.762	84,33
VAR84	Env_XPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85	113.306	97.734	82,47
VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85	115.513	100.767	79,38
Solução 4				
VAR86	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	100.036	85.927	91,23
VAR87	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874 +RenFV44,8+ST 5,7	130.180	113.633	2,25
VAR88	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	103.923	89.118	93,33
VAR57	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	102.563	88.006	99,85
VAR58	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	100.737	86.447	96,16
VAR59	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	114.739	98.281	78,58
VAR61	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	100.620	86.484	87,10
VAR62	Env_EPS60+Cob_XPS140+ PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	101.424	87.101	89,21
VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	98.674	84.842	89,53
VAR65	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,3+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	101.001	86.788	88,07
VAR68	Env_EPS80+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	101.585	87.267	87,18

O Quadro 37 e o Quadro 38 resumem as variantes ótimas encontradas para cada solução bem como as características térmicas da intervenção de reabilitação térmica na envolvente.

Quadro 37 – Resumo das variantes ótimas de todas as soluções estudadas

SOL	VAR	Descrição	Custos Globais (30 anos) (€)		Ntc (kWh/m².ano)
			Privada	Social	Total
1	VAR70	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	156.662	129.198	305,25
2	VAR42	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+Ren ST5,7	112.881	107.010	124,36
3	VAR35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	102.334	85.458	105,21
4	VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	98.674	84.842	89,53
5	VAR81A	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85	103.511	89.542	90,32
6	VAR89	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Cald_B0,91	123.999	109.021	62,99

Quadro 38 – Características da Envolvente nas variantes ótimas de cada solução

SOL	Variante ótima	Medida Ótima	Paredes Exteriores	Cobertura (Uasc/Udesc)	Pavimento Têrreo	Envidraçados
1	70	U [W/(m ² .°C)]	0,26	0,24/0,23		2,1
		R (m ² .°C/W)			2,85	
2	42	U [W/(m ² .°C)]	0,35	0,35/0,33		2,1
		R (m ² .°C/W)			1,82	
3	35	U [W/(m ² .°C)]	0,54	0,50/0,46		2,1
		R (m ² .°C/W)			1,82	
4	64	U [W/(m ² .°C)]	0,54	0,50/0,46		2,1
		R (m ² .°C/W)			1,82	
5	81A	U [W/(m ² .°C)]	0,54	0,50/0,46		2,1
		R (m ² .°C/W)			1,82	
6	89	U [W/(m ² .°C)]	0,54	0,48/0,38		2,1
		R (m ² .°C/W)			2,31	

É interessante concluir que as soluções com custos globais mais baixos (SOL3, 4 e 5) apresentam a mesma medida de reabilitação na envolvente opaca e transparente. Por outro lado essa envolvente não é a que apresenta valores de coeficientes de transmissão térmica mais baixos (Quadro 38) o que leva a concluir que as medidas a aplicar na envolvente não são óbvias e que o estudo custo/benefício deve ser realizado.

A importância de medidas na envolvente opaca e transparente é visível tanto nas necessidades energéticas como nos custos globais. Este facto é notório na SOL2 - VAR51 onde se verificam os maiores custos globais de todas as variantes desta solução (à exceção das variantes com energias renováveis), fato já referido anteriormente. Mas é também visível em diversas variantes de outras soluções, onde o incremento de espessura de isolamento leva a valores de custos globais mais baixos. Como exemplo temos a VAR2 e 3 para a SOL1 ou a VAR57 e 86 da SOL4. No entanto esta constatação não é óbvia e não se verifica em todos os casos, leva contudo a concluir da relevância da envolvente (ANEXO 7, Quadro 79).

É também pertinente verificar que os valores de Ntc determinados nas três soluções mais interessantes são bastante próximos, rondando os 90/100kWh/m²ano.

É visível no Quadro 37 que à exceção da SOL2 nenhuma variante ótima inclui as energias renováveis, contudo não foi considerado neste estudo o retorno financeiro de vender energia renovável à rede pública. Não se avaliou este facto pela complexidade do mesmo e pela incerteza no que diz respeito aos valores pagos por kWh no mercado futuro.

Os equipamentos (aqui representados enquanto soluções) têm uma importância muito significativa na relação custo/benefício. O seu rendimento influencia de modo muito relevante a curva ótima, não

só porque em geral os equipamentos têm custos de investimento e manutenção bem maiores que as medidas passivas, mas também porque a sua utilização ao longo do ciclo de vida do edifício é contínua.

Importa ainda referir que a VAR64 cumpre os requisitos impostos pela regulamentação, nomeadamente a relação entre os valores das necessidades nominais e limite de energia útil (N_{tc}/N_t , N_{ic}/N_i e N_{vc}/N_v) para edifícios existentes (Quadro 39) de acordo com a Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, o que nem sempre se verifica nas variantes estudadas.

Quadro 39 – Relação entre os valores das necessidades nominais e limite de energia útil (N_{tc}/N_t , N_{ic}/N_i e N_{vc}/N_v)

Ano de construção	N_{ic}/N_i	N_{vc}/N_v	N_{tc}/N_t
Anterior a 1960	Não aplicável	Não aplicável	1,50
Entre 1960 e 1990	1,25	1,25	1,50
Posterior a 1990	1,15	1,15	1,50

Fonte: Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012

No Capítulo 5 são realizados diferentes cenários com o objetivo de identificar o impacto da variação de alguns parâmetros importantes no cálculo de otimização de rentabilidade. Parâmetros como a localização do edifício, a evolução do preço da energia e a taxa de desconto das duas perspetivas estudadas podem influenciar a identificação da variante ótima. Aliás, esta análise de sensibilidade é recomendada pelo Regulamento Delegado, nomeadamente no que diz respeito à taxa de desconto para o cálculo macroeconómico e financeiro, mas não só (ver capítulo 3.5).

4.2. Apresentação do caso de estudo 2 - Informação geral

O caso de estudo 2 diz respeito a um edifício multifamiliar localizado no Porto, na freguesia da Foz do Douro no Bairro Rainha Dona Leonor (Região NUT III, Grande Porto (I2-V1)) (Figura 15).



Figura 15 – Localização geográfica do edifício – Caso de estudo 2

Fonte: Google Earth (data da imagem: 26/06/2007)

Situado no interior de uma zona urbana, o edifício encontra-se numa faixa costeira inferior a 5km e a uma altitude de 30m (Quadro 40).

Relativamente à volumetria do edifício trata-se de uma estrutura retangular estando definido segundo a orientação Norte e Sul. De acordo com a informação recolhida foi construído na década de 60 do século XX e é composto por 4 frações tipo T3. O edifício possui dois pisos, rés-do-chão e primeiro andar. No rés-do-chão existe uma sala e cozinha, e ainda um quarto, enquanto no primeiro

andar existem dois quartos e uma casa de banho. O acesso às habitações é realizado pela fachada orientada a Sul, através do logradouro comum existente. De seguida apresentam-se plantas, alçados e um corte que ilustram estes dados (Figura 16 e 17).



Figura 16 – Plantas do piso Rés-do-Chão e Piso 1 - Caso de estudo 2

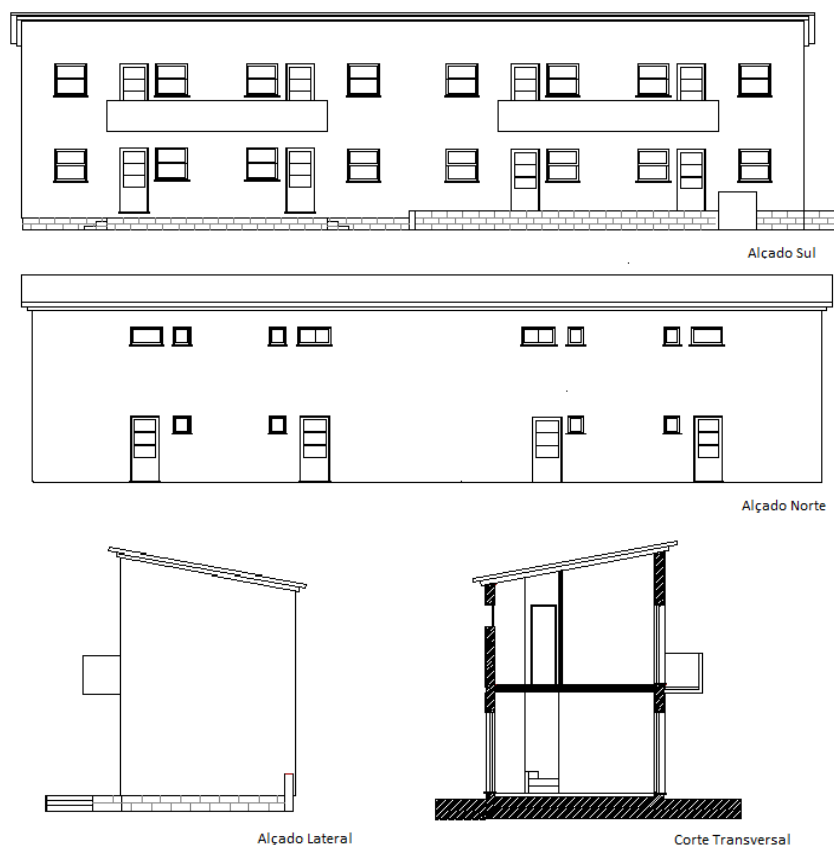


Figura 17 – Alçados e Corte Transversal – Caso de estudo 2

Plantas, alçados e cortes mais completos e à escala encontram-se no ANEXO 6.

De acordo com a informação recolhida o edifício é constituído por paredes exteriores constituídas por pano simples, em tijolo furado de 20cm rebocadas em ambas as faces e pintadas. A cobertura é inclinada, composta apenas por uma água, sendo constituída por placas de fibrocimento sobre 6cm de isolamento XPS apoiados numa estrutura de travejamento para suporte em madeira (Figura 18).



Figura 18 – Cobertura do edifício e parede exterior – Caso de estudo 2

O pavimento em contacto com o solo (laje térrea - envolvente sem requisitos) é composto por revestimento cerâmico (exceto nas casas de banho que é mosaico) e uma camada de regularização. Relativamente aos elementos de compartimentação, as paredes interiores são constituídas por um pano de tijolo furado de 11cm rebocadas em ambas as faces e o pavimento intermédio é composto por laje aligeirada com blocos cerâmicos com 15cm de espessura e revestimento aplicado diretamente sobre a betonilha. A parede em contacto com o edifício adjacente é constituída por um pano de alvenaria em tijolo furado de 20cm e foi tratada como envolvente interior com requisitos de interior sendo atribuído ao edifício anexo um coeficiente de redução de perdas de 0,6. Os vãos envidraçados têm por base caixilhos em madeira com vidros simples, munidos de persianas pelo exterior como dispositivo de oclusão noturna. As caixas de estore são em plástico e não possuem isolamento.

Quadro 40 – Localização e Características do edifício – Caso de estudo 2

Localização	
Edifício situado no município: Porto	Região NUTS III: Grande Porto
Região: B	Distância à costa: inferior a 5km
Edifício situado no interior de uma zona urbana	Altitude do local: 30m
Características	
Rugosidade: I	
Tipologia: T1	Classe de Inércia Térmica do Edifício: Média
Área útil de Pavimento: 43,75 m ²	Pé-direito médio: 2,60 m

Tendo em consideração os elementos construtivos da envolvente exterior (paredes de alvenaria e cobertura leve com teto falso) e dos elementos construtivos interiores (paredes de compartimentação de alvenaria) considera-se que se trata de um edifício de Inércia Média (Despacho RCCTE.03 da Proposta de revisão do RCCTE de 2012).

A abordagem a este edifício do ponto de vista da reabilitação foi bastante diferente e mais profunda que no caso de estudo 1. Neste edifício foi assumido pelo arquiteto uma alteração significativa da tipologia e localização de cada fração (passando de T3 para T1); da área de envidraçados; do local de acesso à fração e ainda da não utilização de dispositivos de oclusão noturna exteriores (persianas), mas sim interiores (cortinas opacas).

De acordo com a planta e alçados do edifício (Figura 19 e Figura 20) (a amarelo o edifício existente e a vermelho as alterações) a alteração da tipologia e localização das frações permitiram criar dois T1 no rés-do-chão e dois T1 no piso 1. O edifício apresenta uma simetria vertical entre dois T1. Do ponto de vista energético esta alteração é significativa já que apenas duas frações irão ter como envolvente opaca exterior a cobertura e duas o pavimento térreo.

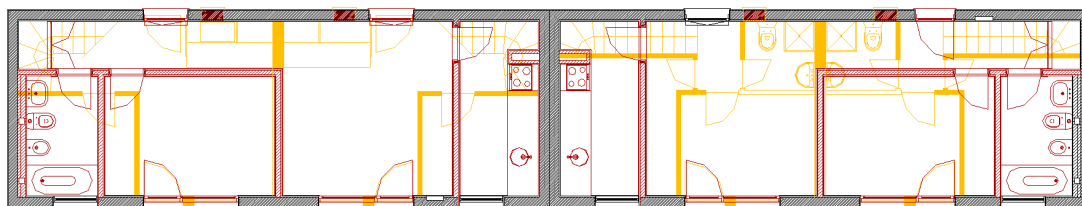


Figura 19 – Planta do rés-do-chão – Caso de estudo 2



Figura 20 – Alçado Posterior e Alçado Principal – Caso de estudo 2

Após o cálculo térmico de cada uma delas, concluiu-se que as frações do piso 1 têm o mesmo comportamento do ponto de vista de necessidades energéticas, apesar da orientação das fachadas sem envidraçados serem opostas (Este e Oeste). Constata-se também que as duas frações do rés-do-chão demonstram valores iguais entre si.

Para poder avaliar a melhoria que as soluções implementadas poderiam vir a trazer foi estudado o edifício original e calculadas as suas necessidades energéticas. O edifício existente foi separado em dois módulos, módulo 14 e módulo 23, cada um contendo duas frações (Figura 21). Os módulos têm características de comportamento energético iguais.

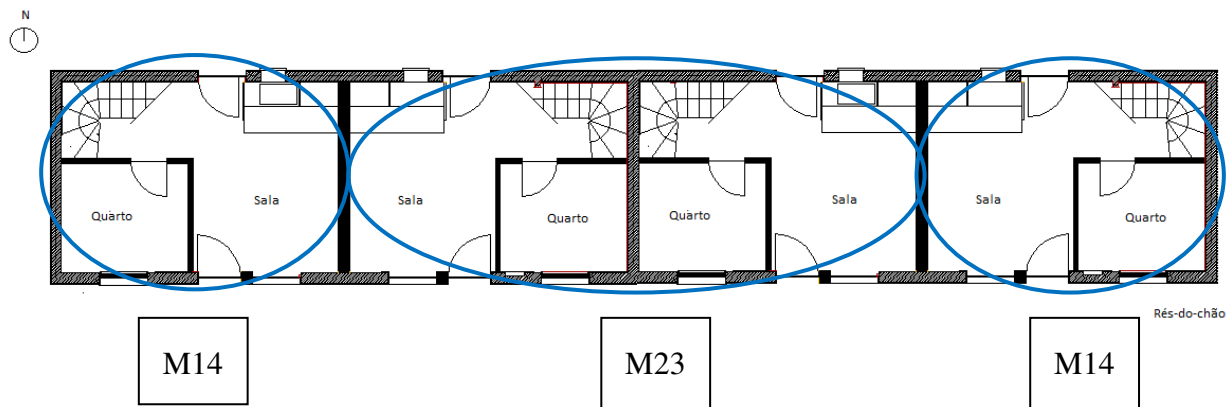


Figura 21 – Módulos M14 e M23 – Caso de estudo 2

4.2.1. Determinação das Necessidades de Energia Útil e Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária

Envolvente Opaca

Abaixo (Quadro 41, Quadro 42, Quadro 43 e Quadro 44) apresentam-se as características das frações 1 e 4 representadas pelo módulo 14 (M14) e das frações 2 e 3 representadas pelo módulo 23 (M23) na envolvente opaca.

Quadro 41 – Coeficientes de Transmissão Térmica -Paredes exteriores, coberturas e pavimento térreo – Caso de estudo 2

PAREDES EXTERIORES - M14			Orientação	Cor	Fachada Ventilada?	Área	U	UREF	
Descrição						m²	W/m².°C	W/m².°C	
Par Ext Sul			Sul	Clara	Não	30,60	1,35	0,40	
Par Ext Oeste			Oeste	Clara	Não	24,95	1,35	0,40	
Par Ext Norte			Norte	Clara	Não	29,65	1,35	0,40	
PAREDES EXTERIORES - M23									
Par Ext Sul			Sul	Clara	Não	30,60	1,35	0,40	
Par Ext Norte			Norte	Clara	Não	29,95	1,35	0,40	
COBERTURAS EXTERIORES M14 e M23					Área	Cor	U _{ascendente}	U _{descendente}	U _{REF}
Descrição					m²		W/m².°C	W/m².°C	W/m².°C
Cobertura					28,10	Média	0,54	0,50	0,35
PAVIMENTOS TÉRREOS (z≤0) M14 e M23	Área	Rf	Perímetro Exposto		Isolamento Perimetral?	U _{bf,eq}		U _{bf,eq} REF	
Descrição	m2	m2.°C/W	m			W/m2.°C		W/m2.°C	
Pav	23,22	0,15	19,60		Não	1,02		0,50	

Quadro 42 – Pontes Térmicas Lineares – Caso de estudo 2

LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS M14	Comp. B	Cálculo de acordo com?	Ψ calculado	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	Ψ	Ψ REF
	m		W/m.°C					W/m.°C	W/m.°C
Fach. com pavimentos térreos	14,85	Valores Tabelados	0,70	-	-	-	Exterior	0,70	0,60
Fachada com pavimento intermédio	14,85	Valores Tabelados	0,70	-	-	s/ teto falso	Exterior	0,30	1,00
Fachada com varanda	3,48	Valores Tabelados	0,70	-	-	-	Exterior	1,20	1,00
Fachada com cobertura	14,85	Valores Tabelados	0,70	Isol. sob/sobre o cobertura?	Sob	c/ teto falso	Exterior	0,70	0,60
Duas paredes verticais em ângulo saliente	11,15	Valores Tabelados	0,50	-	-	-	Exterior	0,40	0,40
Fachada com caixilharia	28,90	Valores Tabelados	0,30	Isol. contacta com a caixilharia?	Não contacta	-	Exterior	0,25	0,20
Zona da caixa de estores	9,50	Valores Tabelados	0,30	-	-	-	Exterior	0,30	0,20
LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS M23	Comp. B	Cálculo de acordo com?	Ψ calculado	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	Ψ	Ψ REF
	m		W/m.°C					W/m.°C	W/m.°C
Fach. com pavimentos térreos	10,35	Valores Tabelados	0,70	-	-	-	Exterior	0,70	0,60
Fachada com pavimento intermédio	10,35	Valores Tabelados	0,70	-	-	s/ teto falso	Exterior	0,30	1,00
Fachada com varanda	3,50	Valores Tabelados	0,70	-	-	-	Exterior	1,20	1,00
Fachada com cobertura	10,35	Valores Tabelados	0,70	Isol. sob/sobre o cobertura?	Sob	c/ teto falso	Exterior	0,70	0,60
Fachada com caixilharia	28,90	Valores Tabelados	0,50	-	-	-	Exterior	0,40	0,40
Zona da caixa de estores	9,50	Valores Tabelados	0,30	Isol. contacta com a caixilharia?	Não contacta	-	Exterior	0,25	0,20

Quadro 43 – Coeficiente de Transmissão Térmica - Paredes interiores – Caso de estudo 2

PAREDES INTERIORES M14	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área	U	UREF
Descrição		m²	(W/m².°C)	W/m².°C
Parede em contacto com o	Edifício Adjacente	24,95	1,20	0,60
PAREDES INTERIORES M23				
Parede em contacto com o	Edifício Adjacente	49,90	1,20	0,60

Na envolvente interior deste caso de estudo não existem pavimentos interiores, coberturas interiores ou vãos interiores.

Quadro 44 – Coeficiente Linear – Ligação entre elementos – Caso de estudo 2

LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS M14	Comp. B	Cálculo de acordo com?	Ψ calculado	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	Ψ	Ψ REF
	m		W/m.°C					W/m.°C	W/m.°C
Fach. com pavimentos térreos	Edifício Adjacente	4,00	Valores Tabelados	0,70	-	-	-	Exterior	0,70
Fachada com pavimento intermédio	Edifício Adjacente	4,00	Valores Tabelados	0,70	-	-	s/ teto falso	Exterior	0,30
Fachada com cobertura	Edifício Adjacente	4,50	Valores Tabelados	0,70	Isol. sob/sobre o cobertura?	Sob	c/ teto falso	Exterior	0,70
Duas paredes verticais em ângulo saliente	Edifício Adjacente	5,58	Valores Tabelados	0,50	-	-	-	Exterior	0,40
LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS M23	Comp. B	Cálculo de acordo com?	Ψ calculado	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	Ψ	Ψ REF
	m		W/m.°C					W/m.°C	W/m.°C
Fach. com pavimentos térreos	Edifício Adjacente	8,00	Valores Tabelados	0,70	-	-	-	Exterior	0,70
Fachada com pavimento intermédio	Edifício Adjacente	8,00	Valores Tabelados	0,70	-	-	s/ teto falso	Exterior	0,30
Fachada com cobertura	Edifício Adjacente	9,00	Valores Tabelados	0,70	Isol. sob/sobre o cobertura?	Sob	c/ teto falso	Exterior	0,70

Envolvente Transparente

O coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados simples com caixilharia de madeira e caixa de estore com permeabilidade ao ar elevada é, de acordo com o ITE 50, de 3,90 (SANTOS e MARTINS, 2006). Todos os vãos envidraçados possuem dispositivo de oclusão noturna contudo para locais sem ocupação noturna o U_w é de 5,10.

Tendo em consideração a localização do edifício, localização urbana, foi considerado o ângulo do horizonte de 45°. A caixilharia foi considerada “sem classificação” e com permeabilidade elevada.

O edifício em estudo tem uma varanda (pala horizontal) na fachada sul que sombreia alguns envidraçados. Foram determinados os ângulos α respetivos de cada vão (Quadro 45).

Quadro 45 – Características e Coeficiente de Transmissão Térmica – Envidraçados – Caso de estudo 2

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES M14	Orientação	Área	Tipo de vidro	Obstrução do Horizonte α °	Pala horizontal α °	Pala vertical à esquerda β_{esq} °	Pala vertical à direita β_{dir} °	Uw	UREF
Descrição		m2						W/m2.°C	W/m2.°C
Env Sul 1	Sul	3,85	Simples	45	80			3,90	1,90
Env Sul 2	Sul	1,00	Simples	45	42			3,90	1,90
Env Sul 3	Sul	1,00	Simples	45	0			5,10	1,90

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES M14	Orientação	Área	Tipo de vidro	Obstrução do Horizonte α°	Pala horizontal α°	Pala vertical à esquerda β_{esq}°	Pala vertical à direita β_{dir}°	Uw	UREF
Descrição		m2						W/m2.°C	W/m2.°C
Env Norte 1	Norte	0,77	Simples	45	0			3,90	1,90
Env Norte 2	Norte	0,26	Simples	45	0			5,10	1,90

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES M23	Orientação	Área	Tipo de vidro	Obstrução do Horizonte α°	Pala horizontal α°	Pala vertical à esquerda β_{esq}°	Pala vertical à direita β_{dir}°	Uw	UREF
Env Sul 1	Sul	3,85	Simples	45	80			3,90	1,90
Env Sul 2	Sul	1,00	Simples	45	42			3,90	1,90
Env Sul 3	Sul	1,00	Simples	45	0			5,10	1,90
Env Norte 1	Norte	0,77	Simples	45	0			3,90	1,90
Env Norte 2	Norte	0,26	Simples	45	0			5,10	1,90

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES M14	Orientação	Classe da Caixilharia	Permeabilidade da Caixa de Estore	Fração Envidraçada Fg	Fator Solar (FS) vidro gvi	FS Global Prot. Móveis e Fixas Ativadas gTm+f	FS Global Prot. Fixas Ativadas gTf	FS de Verão gv	FS de Verão de Referência g _{v REF}
Env Sul 1	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	0,40
Env Sul 2	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	
Env Sul 3	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	
Env Norte 1	Norte	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES M23	Orientação	Classe da Caixilharia	Permeabilidade da Caixa de Estore	Fração Envidraçada Fg	Fator Solar (FS) vidro gvi	FS Global Prot. Móveis e Fixas Ativadas gTm+f	FS Global Prot. Fixas Ativadas gTf	FS de Verão gv	FS de Verão de Referência g _{v REF}
Env Sul 1	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	
Env Sul 2	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	
Env Sul 3	Sul	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	
Env Norte 1	Norte	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	
Env Norte 2	Norte	Sem classificação	Perm. Alta	0,7	0,75	0,04	0,04	0,04	

Sistemas

Os sistemas considerados neste edifício englobam os sistemas para aquecimento e arrefecimento ambiente, AQS e ventilação.

Para superar as necessidades de aquecimento admitiu-se que a fração é servida por resistências elétricas (aquecedores elétricos, rendimento 90%). As necessidades de arrefecimento determinadas foram muito baixas pelo que para o edifício existente não se considerou nenhum sistema para as suprimir. Quanto às necessidades de AQS admitiu-se ainda um esquentador (a gás natural com rendimento de 87,4%). Não existe na fração qualquer sistema de produção de energia proveniente de fontes renováveis.

No que diz respeito à ventilação verifica-se que se trata de um edifício protegido com 2 ou 3 fachadas expostas ao exterior, módulo 23 e 14 respetivamente com uma altura de referência de 6,2 e com um volume de 114m³. Admitiu-se que não existe qualquer ventilação mecânica, sendo o edifício apenas sujeito a ventilação natural (sem condutas), sendo ainda possível o arrefecimento noturno na estação de arrefecimento. O caudal mínimo de renovação de ar determinado foi de 0,6 l/h para a estação de aquecimento e 2,0 l/h para a estação de arrefecimento.

Determinaram-se as Necessidade de Energia Útil e Nominais Anuais Globais de Energia Primária para o edifício existente, contudo tendo em consideração a especificidade do edifício, relembro a sua divisão em dois módulos distintos foi necessário calcular os valores Nic, Nvc, Qa e Ntc para os dois módulos e fazer a ponderação da área por fração (Quadro 46)

Quadro 46 – Classe Energética e Nic, Nvc, Qa, Ntc/Nt – Caso de estudo 2

Síntese	Ap (m2)	43,75	Pd (m)		2,60
	Aenv (m2)	29,46	Classe Inércia Térmica		Média
		Módulo 14		Módulo 23	
		Cálculo	Referência	Cálculo	Referência
	Aenv/Ap	16%	16%	16%	16%
A - Transmissão	Hext (W/°C)	207,5	100,7	161,7	78,9
	Hint (W/°C)	23,6	15,8	44,5	28,9
	Hecs (W/°C)	24	12	24	12
	Htr (W/°C)	254,8	128,1	229,9	119,4
B - Ventilação	Rph,i (h-1)	0,60	0,60	0,60	0,60
	Hve,i (W/°C)	23,2	23,2	23,2	23,2
	Rph,v (h-1)	2,00	-	2,00	-
	Hve,v (W/°C)	77,4	-	77,4	-
C - Ganhos Aquecimento	Qint,i (kWh/ano)	840	840	840	840
	Qsol,i (kWh/ano)	31	0	31	0
	Qg,i (kWh/ano)	871	840	871	840
D - Ganhos Arrefecimento	Qint,v (kWh/ano)	512	-	512	-
	Qsol,v (kWh/ano)	637	-	425	-

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Síntese	Ap (m2)	43,75	Pd (m)		2,60
	Aenv (m2)	29,46	Classe Inércia Térmica		Média
		Módulo 14		Módulo 23	
		Cálculo	Referência	Cálculo	Referência
	Qg,v (kWh/ano)	1149	1888	938	1888
E - Energia nominal para Aquecimento	Qtr,i (kWh/ano)	9544	4798	8612	4471
	Qve,i (kWh/ano)	869	869	869	869
	η_i	0,93	1,00	0,93	1,00
	Qgu,i (kWh/ano)	810	840	808	840
	Nic (kWh/m².ano)	219	110	198	103
F - Energia para Arrefecimento	Qtr,v (kWh/ano)	4476	-	4039	-
	Qve,v (kWh/ano)	1359	-	1359	-
	η_v	0,84	0,68	0,86	0,68
	Qg,v (kWh/ano)	1149		938	
	Nvc (kWh/m².ano)	4	14	3	14
G - Energia Global	Aquecimento (kWhEP/m².ano)	609,70	76,63	550,67	71,44
		90%	53%	88%	51%
	Arrefecimento (kWhEP/m².ano)	0,00	12,45	0,00	12,45
		0%	9%	0%	9%
	feh	1,00	1,00	1,00	1,00
	Qa/Ap (kWh/m².ano)	54,34	54,34	54,34	54,34
	AQS (kWhEP/m².ano)	69,08	55,45	77,40	55,45
		10%	38%	12%	40%
	Vent. Mecânica (kWhEP/m².ano)	0,00	0	0,00	0
		0%	0%	0%	0%
	Eren (kWh/ano)	0	0	0	0
	Renovável (kWhEP/m².ano)	0,00	0	0,00	0
		0%	0%	0%	0%
	Global (kWhEP/m².ano)	678,78	144,53	628,08	139,33
CLASSE ENERGÉTICA	Ntc/Nt	4,70	G	4,51	G

Energia Global (Referência)	Aquecimento (kWhEP/m².ano)	Arrefecimento (kWhEP/m².ano)	Qa/Ap (kWh/m².ano)	Global (kWhEP/m².ano)
Módulo 14	76,63	12,45	54,34	144,53
Módulo 23	71,44	12,45	54,34	139,33
Edifício	74,03	12,45	54,34	141,93
CLASSE ENERGÉTICA	Ntc/Nt = 4,60			G

4.2.2. Variantes Seleccionadas – Caso de estudo 2

As soluções estudadas no caso de estudo 2 são muito semelhantes às aquelas seleccionadas para o caso de estudo 1 e que já acima foram explanadas e justificadas. Esta opção de manter as soluções muito semelhantes permitiu também comparar os desempenhos e os resultados entre algumas variáveis dos dois casos de estudo. Contudo, devido à especificidade do edifício multifamiliar há algumas condicionantes que importa referir.

Envolvente Opaca

Paredes Exteriores

As medidas seleccionadas para a reabilitação energética das paredes exteriores tiveram em consideração o sistema ETICS com EPS de 40mm a 120mm, PIR de 50mm e o XPS de 80mm e 120mm.

Cobertura Exterior

Tendo em consideração que a cobertura existente é revestida com chapa de fibrocimento e já incorpora 60mm de XPS optou-se por avaliar a solução de manter a solução existente e acrescentar um sistema da Onduline (OnduCober) com diferentes isolamentos e espessuras. As soluções estudadas foram o sistema OnduCober com 80mm e 100mm de lã de rocha e com 40, 60,80 e 100mm de XPS. Foi estudada também a utilização de uma estrutura nova em madeira com painéis sandwich compostos por OSB e abeto nas faces de 80, 100 ou 120mm de XPS no núcleo.

A última solução a ser estudada foi a utilização de uma estrutura metálica nova para apoiar painéis sandwich de PUR com as espessuras de 80mm e 100mm e um teto falso em gesso cartonado.

Pavimento Térreo

Nas variantes estudadas para o pavimento térreo foram testadas duas soluções de isolamento térmico, o XPS (nas espessuras de 40, 60, 80mm) e o PIR (nas espessuras de 50mm e 60mm). Estas espessuras foram condicionadas pelo baixo pé-direito do edifício, nomeadamente no 1º piso.

Envolvente Transparente

As medidas de melhoria estudadas da envolvente transparente passaram por considerar duas opções. Caixilharia em alumínio e em plástico (PVC), ambas com corte térmico e vidro duplo (corrente, espessura da lâmina de ar, 16mm) e cortinas opacas interiores.

O tipo de envidraçado considerado foi simples, vidro duplo e a janela de correr, pois não ocupam área interior quando abertas o que neste edifício em particular é relevante dadas as pequenas áreas

interiores. As soluções do tipo de envidraçado, janela e dispositivos de oclusão noturna foram opções que o arquiteto preconizou e apresentadas no Quadro 47.

Quadro 47 – Coeficiente de transmissão térmica - Vãos Envidraçados

CAIXILHARIAS		U _{wdn} [W/(m ² °C)] (com oclusão noturna -cortina interior opaca)	U _w [W/(m ² °C)] (sem ocupação noturna)
Madeira	vidro simples	4,3	5,1
Alumínio c/ Corte Térmico	vidro duplo	2,9	3,3
PVC c/ Corte Térmico	vidro duplo	2,5	2,7

Sistemas

Também aqui as soluções estudadas foram bastantes semelhantes ao caso de estudo 1

Bomba de Calor (Aquecimento, Arrefecimento e AQS)

Foram consideradas duas bombas de calor (ar-ar) tipo Rooftop para o edifício e utilizados 2 termoventiladores (fan coil's) por fração que permitem distribuir, por ar, a energia de aquecimento e arrefecimento pelas divisões de cada fração (Quadro 48).

Quadro 48 – Sistemas: Bomba de Calor (Aquecimento, Arrefecimento e AQS)

Equipamento	Fonte de Energia	COP/EER	Marca/Referencia	Requisitos mínimos	
Bomba de Calor	Eletricidade	3,5/2,9	Space IPF-90 "CIAT"	3,2>COP≥3,0 (Classe C)	2,8>EER≥2,6 (Classe C)

Ar condicionado (Aquecimento e/ou arrefecimento)

Foi selecionado um sistema de AC centralizado independente para cada fração (Quadro 49).

Quadro 49 – Sistemas: AC (Aquecimento e/ou Arrefecimento)

Equipamento	Fonte de Energia	COP/EER	Marca/Referência	Requisitos mínimos	
Ar condicionado MultiSplit (unidade com permuta ar-ar)	Eletricidade	4,65/4,97 Classe A	MITSUBISHI / MXZ-2B30VA (1 unidades exteriores) MITSUBISHI / MSZ SF15VA (2 unidades interiores)	3,4≥COP>3,2 (Classe C)	3,0≥EER>2,8 (Classe C)

Para além das unidades exteriores necessárias (uma por fração) foram consideradas 2 unidades interiores para cada fração.

Caldeira Mural (Aquecimento e/ou AQS)

A caldeira mural selecionada apresenta as características do Quadro 50.

Quadro 50 – Sistemas: Caldeira Mural (Aquecimento e AQS)

Equipamento	Fonte de Energia	Rendimento nominal	Marca/Referência	Requisitos mínimos
Caldeira Mural	Gás natural	92% Classe A	Vulcano Gama Lifestar	$86\% \leq \eta \leq 89\%$ Classe B

Foi selecionada uma caldeira corrente no mercado com um rendimento de 92%. Foram ainda utilizados 4 radiadores por fração, num total de 16 para distribuir, por água, a energia de aquecimento pelas divisões de cada fração.

Aquecedor Elétrico (Aquecimento)

Foram considerados apenas 2 aquecedores elétricos em cada fração com as características apresentadas no Quadro 51.

Quadro 51 – Sistemas: Aquecedor Elétrico (Aquecimento)

Equipamento	Fonte de Energia	Rendimento nominal	Marca/Referência
Aquecedores/Resistência	Eletricidade	90%	Sem marca

(CYPE, 2012)

Esquentador (AQS)

O esquentador a gás natural selecionado apresenta as características indicadas no Quadro 52.

Quadro 52 – Sistemas: Esquentador (AQS)

Equipamento	Fonte de Energia	Rendimento/COP	Marca/Referência
Esquentador	Gás natural	87,4%	Vulcano WRDG Click HDG

(VULCANO, 2013)

Termoacumulador (AQS)

Esta opção permite utilizar apenas 2 termoacumuladores para as 4 frações já que o caudal necessário para cada fração é de 80L (2 ocupantes X 40L/ocupante) e o equipamento selecionado tem um depósito de 190L (Quadro 53). Foram considerados no entanto contadores individuais para cada fração e o seu custo considerado em orçamento.

Quadro 53 – Sistemas: Termoacumulador (AQS)

Equipamento	Fonte de Energia	Rendimento/COP	Marca/Referência
Termoacumulador	Elétrico	80%	Elacell Smart ES 100-1M "JUNKERS

(CYPE, 2012)

Todas as características técnicas dos equipamentos em estudo se encontram no ANEXO 4.

Ventilação

O edifício habitacional não necessita de ventilação mecânica.

Energias renováveis

Sistema solar térmico

O kit selecionado, após várias simulações através do SOLTERM 5.0 para garantir o menor custo de investimento (em €/m² de painel) e um equipamento certificado (CERTIF) e nacional foi o Norquente N2 – N200L. Foi considerado um depósito de 200L (com interior em PVC) a 45°C com permutador em serpentina pressurizado e um sistema de apoio de gás natural. O perfil de consumo dos 160L (consumo para duas frações) necessários foi distribuído entre as 6h e 10h e entre as 17h e 21h de forma igual ao longo do ano. No total foram considerados dois kits para o edifício (4 frações), sendo no entanto o abastecimento individual. Por simplificação de cálculo as obstruções do horizonte e a irradiação solar foram consideradas as por defeito do SOLTERM 5.0.

Sistemas fotovoltaicos

Foram considerados os painéis fotovoltaicos Siemens M75S organizados em vários 'strings' com 2 módulos em cada e ligados à rede de baixa tensão.

Todos os relatórios energéticos retirados do SOLTERM encontram-se no ANEXO 5.

Caldeira biomassa

A caldeira considerada tem sistema de alimentação automático e é da marca ATMOS DC21P (LAREIRAS CARVALHO, 2013) com um rendimento de 91% para aquecimento de AQS.

Resumo das soluções selecionadas

Quadro 54 – Resumo das Soluções selecionadas no caso de estudo 2

		Elemento construtivo				U – Coeficiente de Transmissão Térmica Superficiais (W/m².oC)	
		Pavimento Térreo ¹⁾				0,35 -0,81	
		Paredes Exteriores (ETICS)				0,26- 0,44	
Envoltente opaca e transparente		Cobertura Inclínada (1 água)				U ascendente	U descendente
						0,22-0,39	0,22-0,38
		Envidraçados				Locais com ocupação noturna	Locais sem ocupação noturna
						2,5-2,9	2,7-3,3
Sistemas Aquecimento, Arrefecimento e AQS)	Solução	Aquecimento		Arrefecimento		AQS	
		Equipamento	COP/R ²⁾	Equipamento	EER	Equipamento	COP/R ²⁾
	1	Aquecedor	0,90	AC	4,97	Esquentador	0,874
	2	Caldeira Mural+Radiadores	0,92	AC	4,97	Caldeira Mural	0,92
	3	Bomba de Calor +Termoventiladores	3,50	Bomba de Calor +Termoventiladores	2,90	Bomba de Calor	3,50
	4	AC	4,65	AC	4,97	Esquentador	0,874
	5	AC	4,65	AC	4,97	Termoacumulador	0,80
	6	AC	4,65	AC	4,97	Caldeira Biomassa	0,91
Energia Renovável		Equipamento	Marca/Referência			Área (m²)	
		Painel Solar Térmico	kit Norquente N300L			1,9	
		Painel fotovoltaico	Siemens M75S AC			2,8	
		Caldeira Biomassa	ATMOS DC21P			-	

¹⁾ Interpolado de acordo com o despacho RCCTE.02, Tabela RCCTE.02.03

²⁾ Rendimento

4.2.3. Determinação dos Custos - Cálculo do custo global financeiro e macroeconómico

Os custos globais financeiros e macroeconómicos deste edifício multifamiliar foram determinados de acordo com o ponto 3.5.

4.2.4. Análise e conclusões da avaliação comparativa das medidas implementadas

No caso de estudo 2 foram analisadas as mesmas soluções testadas no caso de estudo 1, apenas com a alteração do rendimento de alguns equipamentos e a utilização de um termoacumulador elétrico e não a gás. Estas alterações deveram-se à necessidade de ajustar as soluções a um edifício multifamiliar. Foram ainda tidas em consideração algumas medidas de reabilitação na envoltente que melhor se ajustavam a este caso de estudo e que se apresentam explanadas no ponto 4.2.2.

Através da Figura 22 verifica-se que a solução 1 não é interessante ao longo dos 30 anos já que apresenta os valores mais elevados quer em custos globais quer em necessidades energéticas. Esta solução não é por isso recomendável numa reabilitação energética.

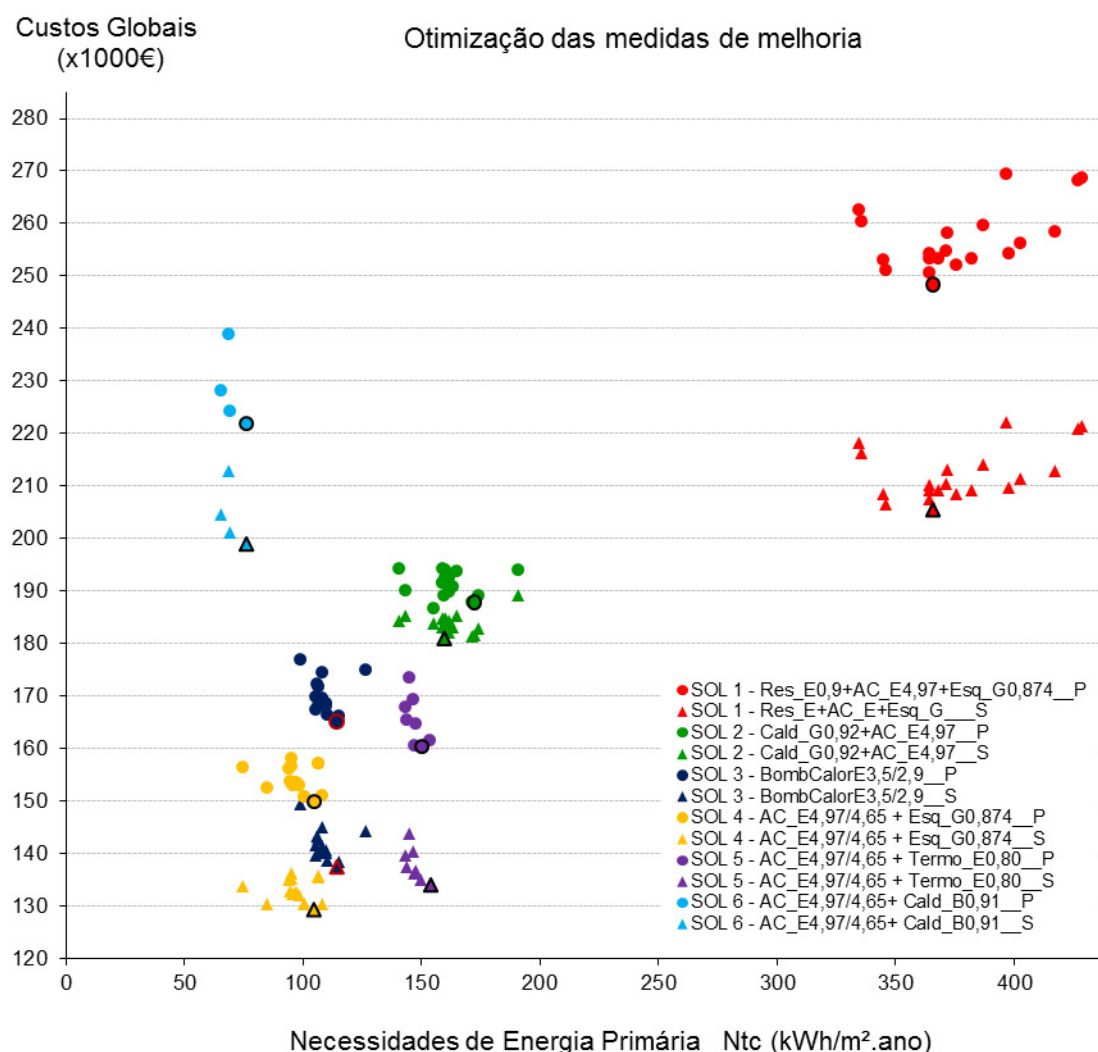


Figura 22 – Relação Custos Globais/ Ntc – Soluções e Medidas de melhoria

Apesar disso é possível analisar algumas variantes desta solução e retirar algumas conclusões. Comparando as VAR1 e VAR2 conclui-se que uma diferença de 2cm no isolamento (MW) da cobertura, permite reduzir os custos globais em apenas cerca de 400€ em ambas as perspetivas, o que não é de todo significativo. Esta análise é possível ser realizada noutras soluções, como por exemplo na SOL4 (Quadro 55). Note-se que os valores de Ntc (SOL1) são muitíssimos elevados comparativamente com as outras soluções.

Quadro 55 – Influência do isolamento da cobertura nos Custos Globais e Ntc

Soluções		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução 1				
VAR01	Env_EPS40+Cob_MW80+PT_XPS40+Vidr_U2,9+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	268.647 €	221.202 €	428,67
VAR02	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,9+Res_E0,9+AC_E4,97Esq_G0,874	268.202 €	220.878 €	426,87
Solução 4				
VAR17A	Env_EPS40+Cob_MW80+PT_XPS40+Vidr_U2,9+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	156.977 €	135.436 €	106,76
VAR17B	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,9+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	157.021 €	135.485 €	106,42

Ou seja, um aumento de isolamento da cobertura é benéfico numa avaliação global, contudo esta variação não é tão relevante num edifício com várias frações em diferentes pisos já que o isolamento da cobertura não afeta todas as frações, apenas as do último piso. Esta particularidade será designada por efeito parcial. Apesar disso é necessário lembrar que neste edifício em particular já existia isolamento térmico na cobertura. Por outro lado, se analisarmos, na mesma lógica, as VAR2 e 3 em que houve uma alteração das caixilharias dos envidraçados (consequente alteração dos U_w) conclui-se que há uma redução dos custos globais muito mais significativa. Com esta alteração é possível ver um benefício entre 5000€ e 10000M€ (Quadro 56) de poupança ao fim de 30 anos. Também nas VAR45 e 48 é possível ver esta influência.

Esta conclusão é visível noutras soluções, nomeadamente nas soluções 3 (VAR10 e 50) e 4 (VAR 17B e 17C, 17A e 62) (Quadro 56).

Quadro 56 – Influência do tipo de Caixilharia nos Custos Globais e Ntc

Soluções		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução1				
VAR02	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,9+Res_E0,9+AC_E4,97Esq_G0,874	268.202 €	220.878 €	426,87
VAR03	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	258.391 €	212.704 €	417,19
VAR45	Env_EPS100+Cob_P_XPS100+PT_XPS40+Vidr_U2,9+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	269.369 €	222.110 €	396,68
VAR48	Env_EPS100+Cob_P_XPS100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	259.558 €	213.936 €	387,01
Solução3				
VAR10	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5 +BombCalorE3,5/2,9	165.126 €	137.431 €	114,22
VAR50	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,9 +BombCalorE3,5/2,9	174.501 €	145.418 €	116,69
Solução4				
VAR17B	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,9+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	157.021 €	135.485 €	106,42
VAR17C	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	149.827 €	129.309 €	104,55
VAR17A	Env_EPS40+Cob_MW80+PT_XPS40+Vidr_U2,9+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	156.977 €	135.436 €	106,76
VAR62	Env_EPS40+Cob_MW80+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	150.919 €	130.128 €	108,28

Conclui-se assim que há medidas, como por exemplo a melhoria dos envidraçados que têm uma ponderação muito mais forte neste tipo de edifícios comparativamente a outras, como é o caso da melhoria do isolamento da cobertura. Esta observação tem que ser analisada tendo em conta o efeito parcial acima referido e o número de frações (e sua área de envidraçados) do edifício multifamiliar.

Tendo em consideração as especificidades deste edifício onde já existia uma cobertura com isolamento térmico (XPS com 60mm de espessura) e admitindo que a cobertura estaria em condições estruturais e de funcionalidade que lhe permitiria não ser substituída, é possível admitir que uma solução energética onde seja necessária a sua substituição será mais onerosa. Isto porque se admite uma nova estrutura para a cobertura e não apenas a intervenção na envolvente (componente energética/isolamento). Este facto pode ser visível comparando as VAR44, 49 e 72 cuja única diferença foi alterar a medida a implementar na cobertura. Na VAR44 apenas foram acrescentadas placas de isolamento XPS (60mm de espessura) à solução existente, já nas VAR49 e 72 toda a cobertura foi substituída e utilizados painéis sandwich de XPS com 120mm e de PUR com 120mm, respetivamente. Assim, apesar do isolamento ter a mesma espessura a solução de reabilitação adotada influenciou decisivamente os custos globais (Quadro 57).

Quadro 57 – Influência da medida a implementar na cobertura (com ou sem solução estrutural)

Solução 1		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m ² .ano)
		Privada	Social	Total
VAR44	Env_XPS100+Cob_XPS(60+60)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	252.128 €	208.376 €	375,75
VAR49	Env_XPS100+Cob_P_XPS120+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	258.113 €	213.053 €	371,73
VAR72	Env_XPS100+Cob_P_PUR120+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	254.204 €	209.987 €	364,44

A variável ótima na SOL1 é a VAR 69 logo seguida da VAR 67 (Quadro 58).

Quadro 58 – Resumo das variantes da SOL 1 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

Solução1		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m ² .ano)
		Privada	Social	Total
VAR00	Env_EPS40+Cob_XPS(60+0)+PT_XPS40+Vidr_U2,9+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	270.574 €	222.403 €	488,44
VAR01	Env_EPS40+Cob_MW80+PT_XPS40+Vidr_U2,9+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	268.647 €	221.202 €	428,67
VAR02	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,9+Res_E0,9+AC_E4,97Esq_G0,874	268.202 €	220.878 €	426,87
VAR03	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	258.391 €	212.704 €	417,19
VAR04	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	254.138 €	209.583 €	398,08
VAR05	Env_EPS60+Cob_XPS(60+40)+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	256.326 €	211.270 €	402,91

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Solução1		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m ² .ano)
		Privada	Social	Total
VAR18	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874+RenST1,9	250.968 €	206.487 €	346,08
VAR19	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874+RenST1,9	253.086 €	208.300 €	344,87
VAR21	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874+RenST1,9 + FT2,8	260.381 €	216.205 €	335,93
VAR22	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874+RenST1,9+FT2,8	262.499 €	218.018 €	334,72
VAR25	Env_EPS80+Cob_XPS(60+80)+PT_XPS80+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	253.235 €	209.189 €	382,33
VAR44	Env_XPS100+Cob_XPS(60+60)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	252.128 €	208.376 €	375,75
VAR45	Env_EPS100+Cob_P_XPS100+PT_XPS40+Vidr_U2,9+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	269.369 €	222.110 €	396,68
VAR48	Env_EPS100+Cob_P_XPS100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	259.558 €	213.936 €	387,01
VAR49	Env_XPS100+Cob_P_XPS120+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	258.113 €	213.053 €	371,73
VAR67	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	250.495 €	207.328 €	364,52
VAR69	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	248.376 €	205.515 €	365,73
VAR70	Env_EPS120+Cob_P_PUR100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	253.222 €	209.178 €	364,52
VAR71	Env_XPS80+Cob_P_PUR100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	253.274 €	209.136 €	368,40
VAR37	Env_PIR50+Cob_P_PUR100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	254.723 €	210.267 €	371,50
VAR72	Env_XPS100+Cob_P_PUR120+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	254.204 €	209.987 €	364,44

Se utilizarmos a VAR 69 e acrescentarmos a influência da produção de energia renovável utilizando Painéis Fotovoltaicos (VAR21) e Solar Térmicos (VAR18) temos um pequeno decréscimo das necessidades energéticas mas um aumento entre 4,8% e 1,0% de aumento dos custos globais na perspetiva Privada e 5,2% e 0,5% na perspetiva Social (Quadro 58).

Pela Figura 22 é possível também concluir que a SOL2 também não é a mais interessante já que ainda está bastante à direita no eixo das Ntc e com valores de custos ainda altos. A SOL2 utiliza uma caldeira mural para aquecimento e AQS e é uma opção pouco interessante neste caso.

Selecionando as cinco melhores variantes da SOL1 e alterando os equipamentos de aquecimento e AQS para uma bomba de calor (SOL3, solução muito interessante na Figura 22) podemos desde logo concluir pelo Quadro 59 que há uma melhoria muito significativa quer nas necessidades energéticas Ntc, quer nos Custos Globais. Essa melhoria reflete-se num decréscimo dos custos globais de cerca de 82000€ na perspetiva privada e 67000€ na social, e verifica-se também uma diminuição da utilização de energia primária da ordem dos 370kWh/m².ano para os

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

107kWh/m².ano. Pode-se verificar que assim variantes com a mesma envolvente, mas diferentes sistemas de climatização e AQS apresentam custos globais e necessidades de energia primária muito diferentes.

Quadro 59 – Influência da bomba de calor nas 5 melhores variantes da SOL1

Solução	Descrição	Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
SOL1				
VAR69	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	248.376 €	205.515 €	365,73
VAR67	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	250.495 €	207.328 €	364,52
VAR44	Env_XPS100+Cob_XPS(60+60)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	252.128 €	208.376 €	375,75
VAR71	Env_XPS80+Cob_P_PUR100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	253.274 €	209.136 €	368,40
VAR25	Env_EPS80+Cob_XPS(60+80)+PT_XPS80+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	253.235 €	209.189 €	382,33
SOL3				
VAR14	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5 +BombCalorE3,5/2,9	167.366 €	139.473 €	105,74
VAR13	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5 +BombCalorE3,5/2,9	169.785 €	141.515 €	105,43
VAR33	Env_XPS100+Cob_XPS(60+60)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+BombCalorE3,5/2,9	169.572 €	141.237 €	108,36
VAR43	Env_XPS80+Cob_P_PUR100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+BombCalorE3,5/2,9	171.607 €	142.592 €	106,45
VAR15	Env_EPS80+Cob_XPS(60+80)+PT_XPS80+Vidr_U2,5+Vidr_U2,5+BombCalorE3,5/2,9	168.120 €	140.012 €	110,10

É interessante verificar que as variantes ótimas da SOL1 não correspondem às variantes ótimas da SOL3, (Quadro 60) o que vem validar a extrema importância que os equipamentos têm, não só no que diz respeito ao seu rendimento, mas também à sua fonte de energia.

Quadro 60 – Variantes ótimas SOL1 e SOL3 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

Soluções		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Soluções 1				
VAR69	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	248.376 €	205.515 €	365,73
VAR67	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	250.495 €	207.328 €	364,52
VAR44	Env_XPS100+Cob_XPS(60+60)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	252.128 €	208.376 €	375,75
VAR71	Env_XPS80+Cob_P_PUR100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	253.274 €	209.136 €	368,40
VAR25	Env_EPS80+Cob_XPS(60+80)+PT_XPS80+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	253.235 €	209.189 €	382,33
Soluções 3				
VAR10	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5 +BombCalorE3,5/2,9	165.126 €	137.431 €	114,22
VAR11	Env_EPS60+Cob_XPS(60+40)+PT_XPS60+Vidr_U2,5 +BombCalorE3,5/2,9	166.109 €	138.198 €	115,46
VAR12	Env_EPS80+Cob_MW80+PT_XPS80+Vidr_U2,5 +BombCalorE3,5/2,9	166.245 €	138.435 €	110,41
VAR53	Env_EPS100+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Vidr_U2,5+BombCalorE3,5/2,9	166.272 €	138.489 €	109,42
VAR14	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5 +BombCalorE3,5/2,9	167.366 €	139.473 €	105,74

As SOL3, 4 e 5 são as soluções cujas variantes têm custos globais mais baixos e como tal centram a atenção na análise da Figura 22. Assim, ampliando a zona relativa a estas soluções temos abaixo a Figura 23 onde é perceptível que a melhor solução é a SOL4, seguida da SOL5 e finalmente a SOL3.

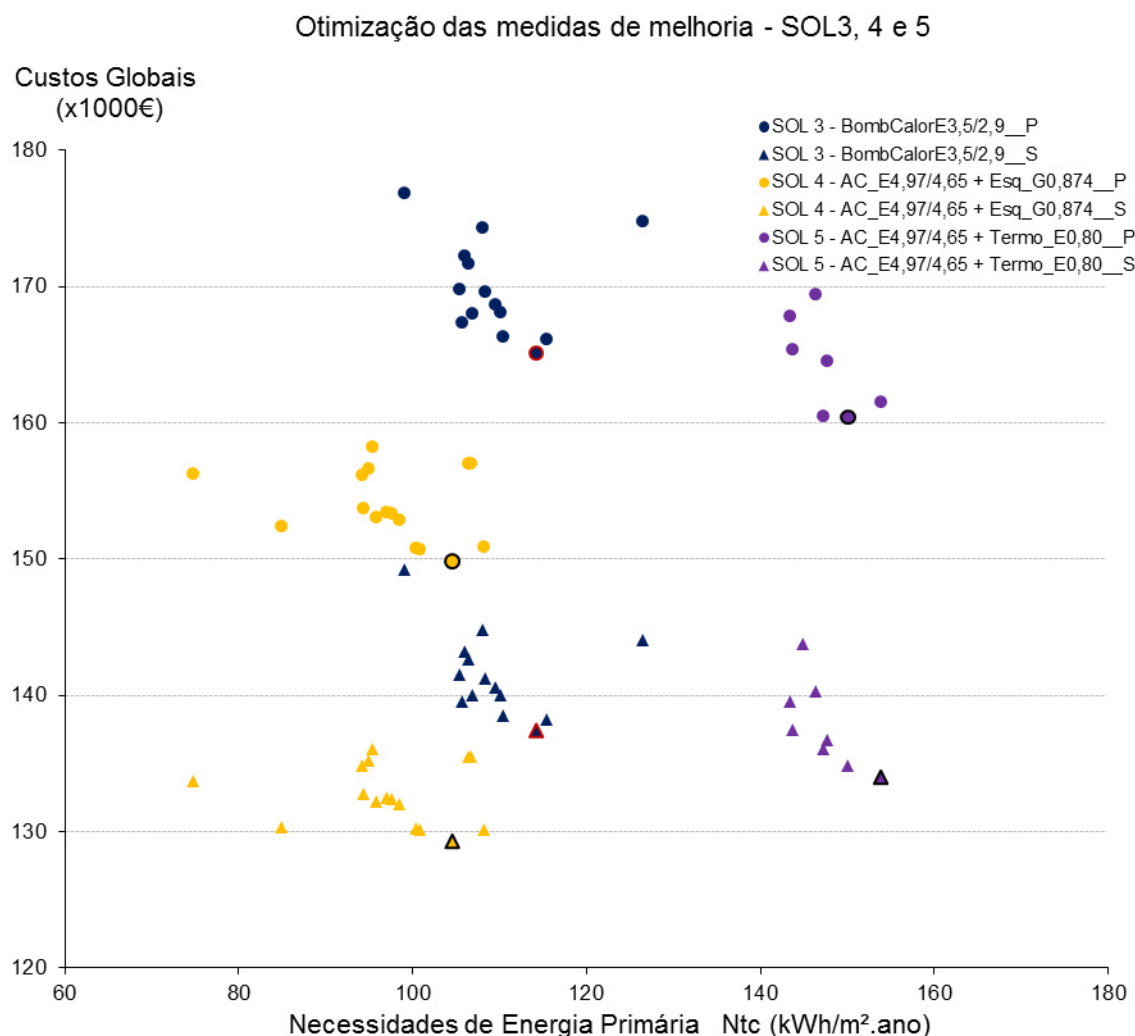


Figura 23 – Relação Custos Globais/ Ntc para as soluções de melhoria SOL3, 4 e 5

A variante ótima é a VAR17C da SOL4 (Quadro 61).

Quadro 61 – Resumo das variantes SOL 4 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

Solução 4		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
VAR17A	Env_EPS40+Cob_MW80+PT_XPS40+Vidr_U2,9+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	156.977 €	135.436 €	106,76
VAR17B	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,9+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	157.021 €	135.485 €	106,42
VAR17C	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	149.827 €	129.309 €	104,55
VAR17D	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	150.722 €	130.119 €	100,79
VAR86	Env_XPS80+Cob_MW100+PT_XPS80+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	153.450 €	132.460 €	97,03
VAR87	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874+ST1,9	156.267 €	133.678 €	74,79

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Solução 4		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m ² .ano)
		Privada	Social	Total
VAR57	Env_XPS100+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	156.612 €	135.157 €	95,03
VAR59	Env_EPS100+Cob_MW100+PT_XPS60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	152.856 €	131.946 €	98,45
VAR61	Env_EPS120+Cob_XPS(60+40)+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	153.323 €	132.337 €	97,55
VAR62	Env_EPS40+Cob_MW80+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	150.919 €	130.128 €	108,28
VAR64	Env_EPS60+Cob_MW100+PT_XPS60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	150.766 €	130.168 €	100,44
VAR65	Env_XPS100+Cob_P_PUR100+PT_PIR50+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	158.173 €	136.043 €	95,48
VAR68	Env_XPS100+Cob_MW100+PT_PIR50+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	153.043 €	132.163 €	95,84
VAR30	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	156.121 €	134.768 €	94,20
VAR31	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	153.676 €	132.706 €	94,44
VAR36	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874+ RenST1,9	152.418 €	130.281 €	84,90

Verifica-se que a variante ótima para este edifício apresenta medidas de reabilitação energética com espessuras de isolamento relativamente pequenas (Quadro 62).

Quadro 62 – Características da Envolvente na variante ótima VAR 17C (SOL4)

Medida Ótima	Paredes Exteriores EPS40	Cobertura (Uasc/Udesc) MW100	Pavimento Térreo XPS40	Envidraçados Vidro duplo com caixilharia em PVC e corte térmico
U (W/m ² .°C)	0,56	0,24/0,24		2,5
R (m ² .°C/W)			1,23	

Por outro lado há também dois pontos (VAR 36 e 87) que se destacam pelas baixas necessidades energéticas, estas são as variantes (SOL4) com incorporação de energia solar térmica. É visível que há uma diminuição significativa de Ntc (84,90 e 74,79 kWh/m².ano, respetivamente) e os custos globais não se afastam significativamente da variante ótima, aliás no caso da VAR36 os custos apenas aumentam cerca 1000€ relativamente à VAR17C (Quadro 61).

Note-se também que a VAR 36 é igual à VAR17C na envolvente e apenas com a incorporação de produção de energia solar térmica reduz-se as Ntc em 20 kWh/m².ano.

Comparando as VAR17D e 62 é possível concluir que o aumento do isolamento, nomeadamente na parede exterior, já que no pavimento térreo dá-se o designado efeito parcial, ainda é benéfico pois leva a custos globais e necessidades energéticas mais baixas (Quadro 61). Ou seja, apesar do custo de investimento inicial ser maior na VAR17D tal facto não se reflete nos custos globais, uma vez que os custos de exploração são mais reduzidos nessa variante.

Se alterarmos a fonte de energia do Termoacumulador na SOL5 para gás (Figura 24), e analisando apenas as SOL4 e 5, verificamos que o tipo de gráfico que produzem é muito semelhante, este facto deve-se à utilização da mesma fonte energética (gás natural) e à semelhança dos rendimentos dos

equipamentos utilizados para AQS, ou seja Esquentador ($\eta=0,874$) na SOL4 e Termoacumulador ($\eta=0,89$) na SOL5. Aliás é possível verificar que as duas variantes mais próximas do ponto ótimo são exatamente as mesmas na SOL4 e 5 (Quadro 63).

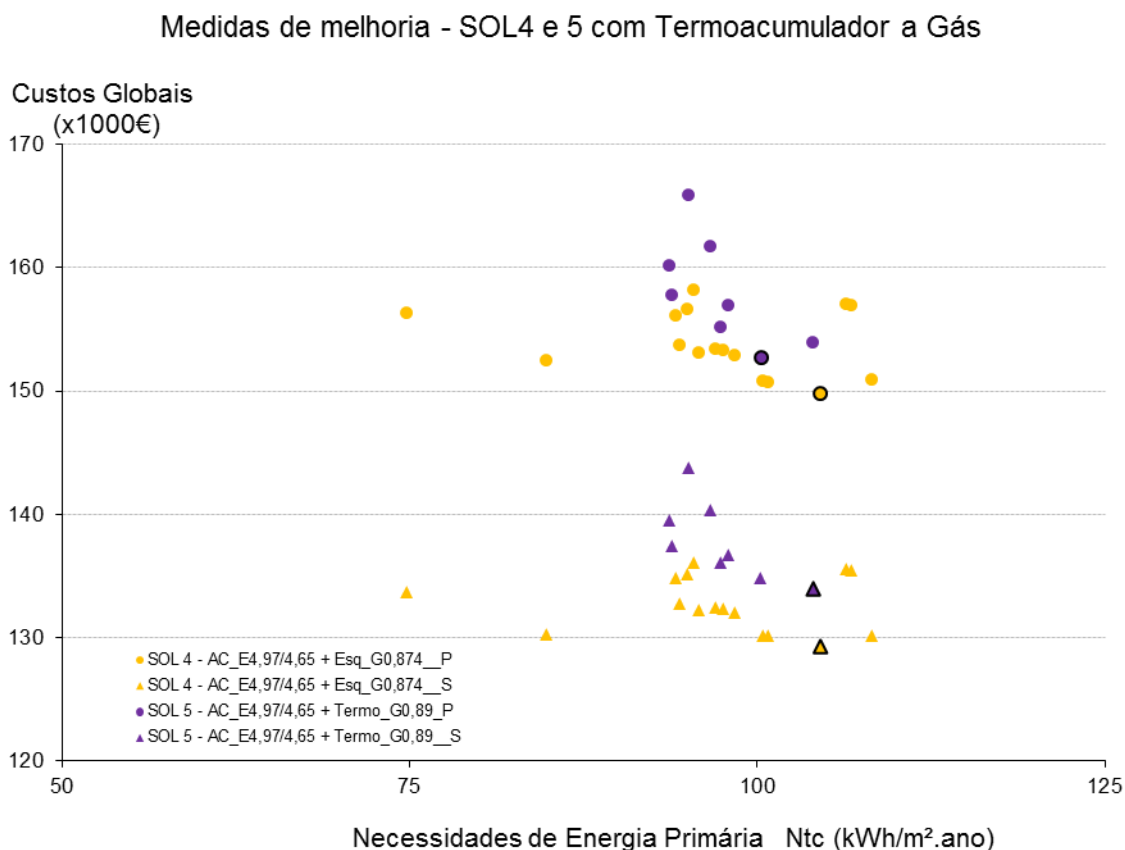


Figura 24 – Relação Custos Globais/ Ntc para as soluções de melhoria SOL 4 e 5 com Termoacumulador a Gás

Quadro 63 – Variantes ótimas SOL4 e 5 com Termoacumulador a Gás

Soluções		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução 5				
VAR27	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+TermoAcm_G0,89	153.871 €	133.987 €	104,03
VAR82	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+TermoAcm_G0,89	152.750 €	134.798 €	100,28
Solução 4				
VAR17C	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	149.827 €	129.309 €	104,55
VAR17D	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+Esq_G0,874	150.722 €	130.119 €	100,79

Na SOL6 foi utilizada uma caldeira a peletes (Biomassa) com um $\eta=0,91$ para suprimir as AQS.

Analisando a Figura 22 é possível concluir que a SOL6 (AC e Caldeira Biomassa para AQS) é interessante do ponto de vista energético, mas não do ponto de vista custo/benefício já que tem valores de custos globais muito elevados (Quadro 64). Nesta análise foi considerada a caldeira de biomassa apenas a suprimir as necessidades de AQS.

Quadro 64 – Resumo das Variantes SOL 6 - Custos Globais e Necessidades Energéticas

Variável	Descrição	Custos Globais 30 anos (€)		Nic	Nvc	Nac	Ntc	Renováveis - Biomassa
		Privada	Social					
VAR24	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Cald_B0,91	221.891	198.971	139,57	2,06	24,89	76,07	27,35
VAR89	Env_PIR50+Cob_P_PUR100+PT_PIR50+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Cald_B0,91	238.963	212.815	126,02	1,80	24,89	68,66	27,35
VAR90	Env_EPS80+Cob_MW80+PT_XPS80+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Cald_B0,91	224.226	201.031	127,50	1,81	24,89	69,46	27,35
VAR91	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Cald_B0,91	228.185	204.430	120,67	1,69	24,89	65,73	27,35

Contudo, este tipo de equipamento tem a capacidade de suprir não só as necessidades de AQS, mas também as necessidades de aquecimento. Nesse caso, e segundo o Despacho Geral 0.3 da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, a contribuição de um sistema de queima de biomassa sólida entra em consideração com o número de meses de aquecimento, o tipo de alimentação da caldeira, o local de instalação do equipamento e a área servida pelo mesmo.

Considerando estes fatores conclui-se que esta caldeira corrente no mercado apresenta valores de Ntc muitíssimos próximos de zero (Quadro 65). Este facto é expectável já que as Nic e Nac são suprimidas pela caldeira e as Nvc são muito baixas. Apesar dos custos de investimento inicial serem iguais em ambos os casos (Caldeira apenas para AQS ou Caldeira para AQS e aquecimento ambiente) os custos globais são bastante diferentes, cerca de 20000€ mais elevados no segundo caso. Este facto deve-se ao aumento dos custos de exploração que aumentam pelo facto do rendimento da caldeira ser bastante inferior ao do AC para aquecimento ambiente (0,91 vs 4,65).

Quadro 65 – Necessidades Energéticas SOL6 e contribuição da caldeira biomassa para AQS e Aquecimento

Variável	Descrição	Custos Globais 30 anos (€)		Nic	Nvc	Nac	Ntc	Renováveis Biomassa				
		Privada	Social						(kWh/m².ano)			
VAR24	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97 + Cald_B0,91	240.962	234.000	139,57	2,06	24,89	1,03	180,72				
VAR89	Env_PIR50+Cob_P_PUR100+PT_PIR50+Vidr_U2,5+AC_E4,	256.182	244.443	126,02	1,80	24,89	0,91	165,83				

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Variável	Descrição	Custos Globais 30 anos (€)		Nic	Nvc	Nac	Ntc	Renováveis - Biomassa
		Privada	Social					
	97+ Cald_B0,91							
VAR90	Env_EPS80+Cob_MW80+PT_XPS80+Vidr_U2,5+AC_E4,97+ Cald_B0,91	241.648	233.030	127,50	1,81	24,89	0,91	167,46
VAR91	Env_EPS120+Cob_XPS(60+100)+PT_PIR60+Vidr_U2,5+AC_E4,97+ Cald_B0,91	244.674	234.716	120,67	1,69	24,89	0,85	159,96

Independentemente da opção, a SOL6 nunca apresenta valores de Custos Globais próximos dos ótimos, ou seja entre os 130000€ e os 160000€.

Para o caso em estudo, edifício multifamiliar, foram analisadas várias soluções e cada uma destas deu origem a uma variante ótima do ponto de vista custo/benefício (Quadro 66). Verifica-se que nem sempre a variante ótima é a mesma quando analisamos as duas perspetivas que a análise de sensibilidade do regulamento delegado recomenda.

É possível concluir que a variante ótima entre todas as soluções é a VAR17C cujas características da envolvente se apresentam no Quadro 67.

Quadro 66 – Resumo das variantes ótimas (Custos Globais e Necessidades Energéticas) para as soluções analisadas

SOL	VAR	Descrição	Custos Globais (€)		Nic	Nvc	Nac	Ntc
			Privada	Social	(kWh/m².ano)			
1	69	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,97+Esq_G0,874	248.376	205.515	121,11	1,69	24,89	365,73
2	63	Env_EPS60+Cob_XPS(60+40)+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Cald_G0,92+AC_E4,97+ RenST1,9	186.660	183.619	134,45	1,91	24,89	155,49
	46	Env_EPS120+Cob_MW100+PT_PIR60+Vidr_U2,5+Cald_G0,92+AC_E4,97	189.054	180.969	121,11	1,69	24,89	159,54
3	10	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5+BombCalorE3,5/2,9	165.126	137.431	132,71	1,91	24,89	114,22
4	17C	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	149.827	129.309	139,57	2,06	24,89	104,55
5	27	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5++AC_E4,97/4,65+ TermoAcm_E0,80	161.517	134.005	139,57	2,06	24,89	153,85
	82	Env_EPS60+Cob_MW80+PT_XPS60+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ TermoAcm_E0,80	160.395	134.816	132,71	1,91	24,89	150,09
6	24	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Cald_B0,91	221.891	198.971	139,57	2,06	24,89	76,07

Quadro 67 – Características da Envolvente nas variantes ótimas de cada solução

SOL	Variante ótima	Medida Ótima	Paredes Exteriores	Cobertura (Uasc/Udesc)	Pavimento Térreo	Envidraçados
1	69	U [W/(m².°C)]	0,26	0,24/0,24		2,5
		R (m².°C/W)			2,85	
2	63	U [W/(m².°C)]	0,44	0,35/0,34		2,5

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

SOL	Variante ótima	Medida Ótima	Paredes Exteriores	Cobertura (Uasc/Udesc)	Pavimento Térreo	Envidraçados
	46	R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)			1,77	
		U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]	0,26	0,24/0,24		2,5
		R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)			2,85	
3	10	U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]	0,44	0,27/0,27		2,5
		R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)			1,77	
4	17C	U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]	0,56	0,24/0,24		2,5
		R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)			1,23	
5	27	U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]	0,56	0,24/0,24		2,5
		R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)			1,23	
	82	U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]	0,44	0,27/0,27		2,5
		R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)			1,77	
6	24	U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]	0,56	0,24/0,24		2,5
		R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)			1,23	

Foi possível concluir também que neste tipo de edifício multifamiliar a área de paredes exteriores e envidraçados tem um peso muito mais significativo quando se procura a variante ótima que a área da cobertura ou pavimento térreo. Como é natural a área de cobertura e pavimento térreo (envolvente exterior) apenas influencia as frações em contacto com estas permitindo as frações intermédias apresentarem menores necessidades energéticas.

Verificou-se ainda que o tipo de equipamento é preponderante na análise da variante ótima, pois o tipo de energia utilizada e o rendimento do equipamento é tão relevante ao longo dos 30 anos de análise que há equipamentos que são desde logo propositadamente negligenciados.

Analisando as soluções mais interessantes (SOL3, 4 e 5) verifica-se que as variantes ótimas são as mesmas, ou seja possuem as mesmas medidas de reabilitação energética aplicadas à envolvente. É possível verificar ainda que a SOL6 é do ponto de vista estritamente energético a melhor solução contudo apresenta custos globais que não lhe permitem situar-se na zona de custo/benefício ótimo.

Analisando o Quadro 67 é pertinente concluir que as variantes ótimas em todas as soluções apresentam coeficientes de transmissão térmica (na envolvente opaca) relativamente grandes, ou seja as medidas que levam às variantes ótimas estão formuladas com espessuras de isolamento térmico baixo (entre os 40mm e 60mm nas paredes exteriores, à exceção da SOL1 que se apresenta muito desfavorável e pelos argumentos já descritos não deve ser considerada e entre 40mm e 60mm no pavimento térreo). Interessante é também verificar que o isolante que está presente em todas as variantes ótimas das soluções estudadas no que diz respeito às paredes exteriores é o EPS. Estas conclusões permitem direccionar as futuras análises a edifícios semelhantes permitindo encurtar o número de variantes estudadas.

É interessante verificar que as soluções com custos globais mais baixos apresentam variantes ótimas muito semelhantes, Quadro 66, o que leva a concluir que quanto mais eficientes são os equipamentos de climatização, menos compensa investir na envolvente.

4.3. Análise comparativa – Caso de Estudo 1 e 2

Ao comparar os resultados de ambos os casos de estudo em análise (Figura 25 e Figura 26) verifica-se desde logo que as diversas soluções estudadas se localizam nas mesmas zonas do gráfico Necessidades de Energia Primária/Custos Globais. A SOL5 não pode ser comparada já que os equipamentos utilizados nos dois casos de estudo são diferentes, têm diferentes fontes de energia e rendimentos.

Assim, em ambos as situações estudadas a SOL1 (Aquecedor Elétrico e Esquentador) apresenta-se como a mais desfavorável do ponto de vista custo/benefício levando a concluir que é uma solução a evitar numa intervenção de reabilitação. A opção de caldeira mural (SOL2) em ambos os casos apresenta custos globais e necessidades energéticas acima da zona ótima. Por outro lado as soluções mais pertinentes em ambas as situações foram as SOL3, 4 e 5. Verifica-se ainda que a SOL4 (AC para aquecimento e arrefecimento e Esquentador a gás para AQS) é a que em ambos os edifícios estudados apresenta a variante ótima. A SOL6 em ambos os casos apresenta custos globais demasiado altos.

Também é possível concluir da importância da contribuição das energias renováveis, mesmo sem inclusão do retorno de investimento por venda de energia à rede elétrica, no sentido de aproximar as Necessidades de Energia Primária de zero.

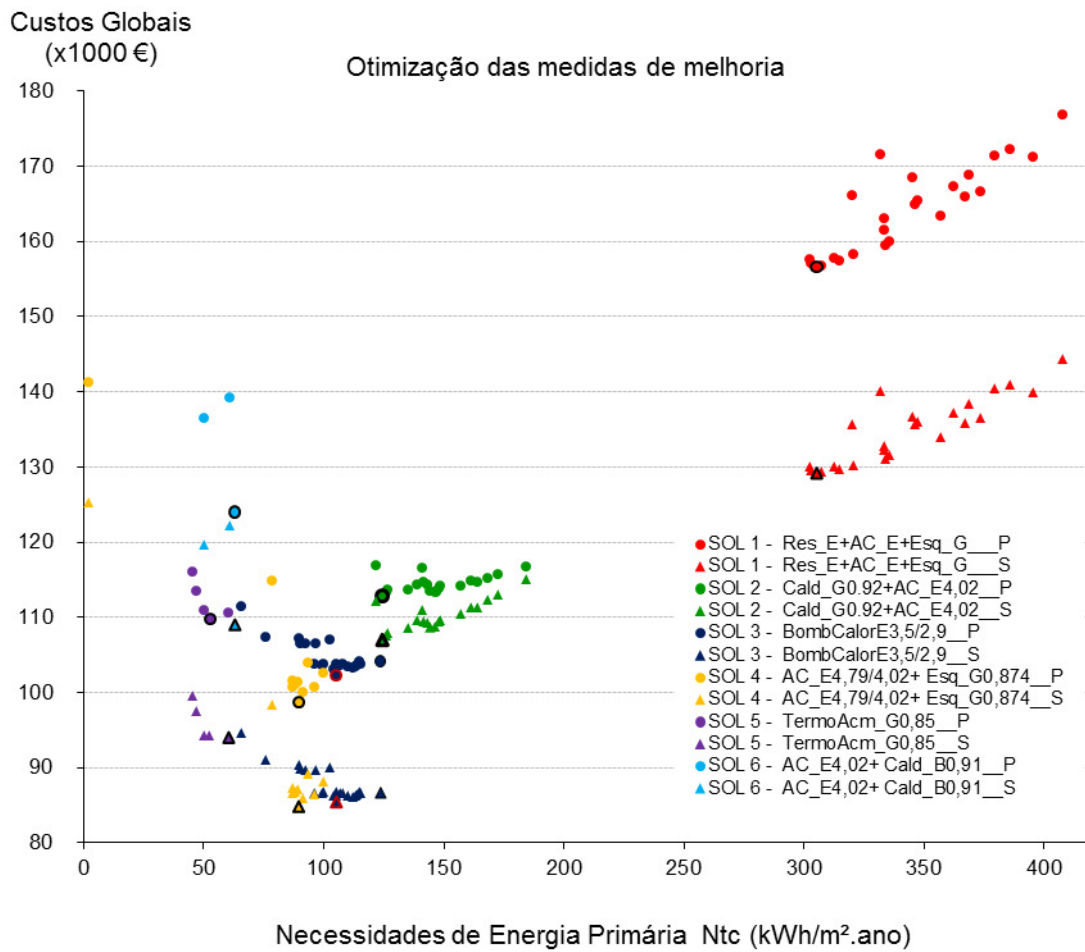


Figura 25 – Relação Custos Globais/ Ntc – Caso de estudo 1

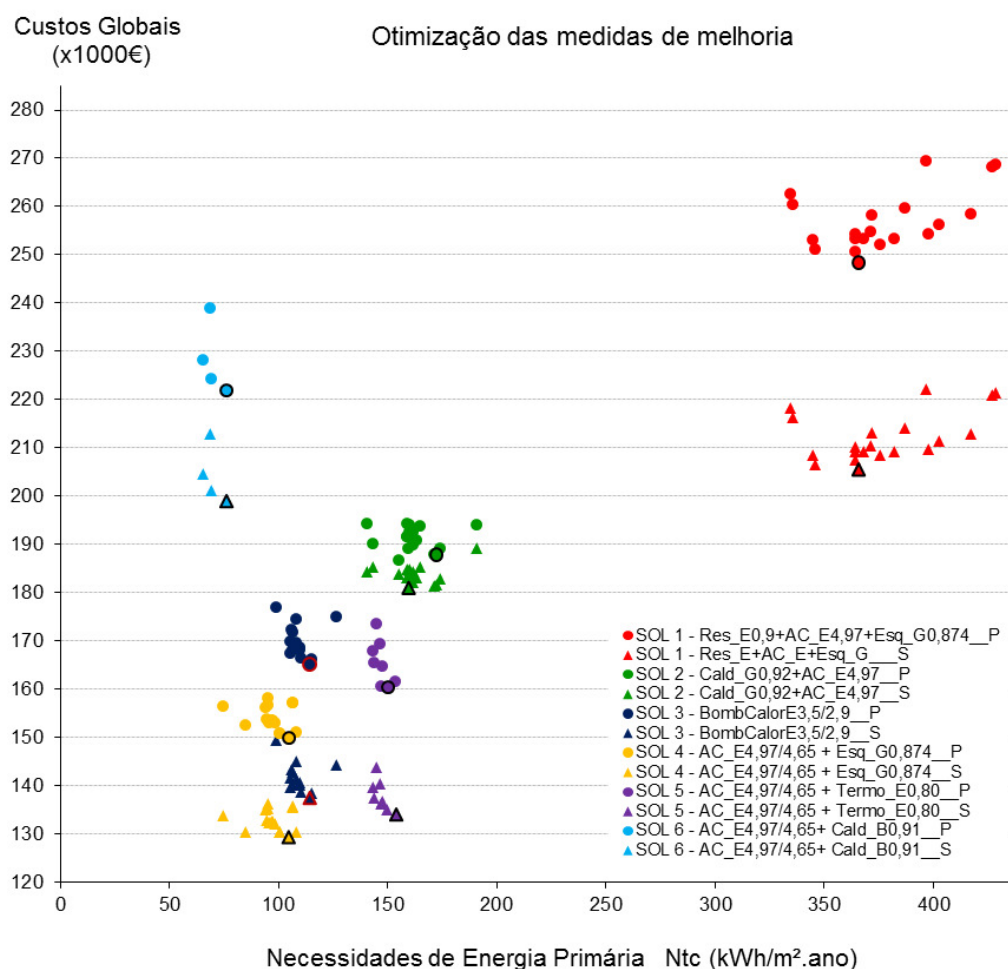


Figura 26 – Relação Custos Globais/ Ntc – Caso de estudo 2

Apesar da solução ótima ser, em ambos os casos a SOL4, as variantes ótimas não são as mesmas. (Quadro 68). Verifica-se aliás que há diferenças significativas nas características térmicas da envolvente nomeadamente nos valores de U da cobertura. Verifica-se ainda que em ambos os casos os coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores são muito semelhantes, aproximadamente 0,55 [W/(m².oC)] e relativamente elevados (Quadro 69).

Quadro 68 – Relação Custos Globais/ Ntc para a SOL4 – Caso de estudo 1 e 2

Descrição		Custos Globais (30 anos) (€)		Ntc (kWh/m².ano)
		Privada	Social	Total
Solução 4 – Caso de Estudo 1				
VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	98.674	84.842	89,53
Solução 4 – Caso de Estudo 2				
VAR17C	Env_EPS40+Cob_MW100+PT_XPS40+Vidr_U2,5+AC_E4,97/4,65+ Esq_G0,874	149.827	129.309	104,55

Quadro 69 - Características térmicas da Envolvente da variante ótima da SOL4 – Casos de estudo 1e 2

Solução 4 – Caso de Estudo 1 (VAR64)				
Medidas Ótimas	Paredes Exteriores EPS60	Cobertura (Uasc/Udesc) PIR40	Pavimento Térreo PIR40	Envidraçados Vidro duplo com caixilharia em PVC e corte térmico
U (W/m ² .°C)	0,54	0,50/0,46		2,1
R (m ² .°C/W)			1,80	
Solução 4 – Caso de Estudo 2 (VAR17C)				
Medida Ótima	Paredes Exteriores EPS40	Cobertura (Uasc/Udesc) MW100	Pavimento Térreo XPS40	Envidraçados Vidro duplo com caixilharia em PVC e corte térmico
U (W/m ² .°C)	0,56	0,24/0,24		2,5
R (m ² .°C/W)			1,23	

Por outro lado os níveis de energia primária são relativamente semelhantes entre 90 e 105kWh/m².ano em ambas as variantes ótimas. Os níveis de Necessidades energéticas do caso de estudo 1 (edifício unifamiliar) são em geral maiores que as do caso de estudo 2 (edifício multifamiliar) contudo esta observação não pode levar a nenhuma conclusão já que as variantes estudadas não são as mesmas em ambos os casos. Além disso, tratam-se de edifícios que apesar da zona climática ser a mesma, não têm a mesma utilização, área, geometria, orientação, área de envidraçados, etc., pelo que não podem ser comparados de forma direta.

Ao analisar a relação entre os custos globais (durante 30 anos) e a área de pavimentos útil em ambos os casos verificamos que, para a solução ótima SOL4, o valor varia entre os 700/800€/m² para o edifício multifamiliar e 650/750€/m² para o edifício unifamiliar, nas perspetivas social e privada respetivamente. Estes valores podem indicar valores de referência quando se pretende avaliar o custo global de uma reabilitação energética. Aliás estes valores variam, para o edifício multifamiliar entre 700/1000€/m² (perspetiva social) e 800/1400€/m² (perspetiva privada) dependendo da solução utilizada (SOL1, 2, 3, 4, 5 ou 6). No edifício unifamiliar os valores de custos globais variam entre 650/750€/m² (perspetiva social) e 750/1150€/m² (perspetiva privada) dependendo da solução utilizada (SOL1, 2, 3, 4, 5 ou 6).

Uma análise dentro de cada uma das soluções leva a concluir que quanto mais eficientes são os equipamentos de climatização e AQS mais a contribuição de envolvente para a identificação da variante ótima é desvalorizada. Em ambos os casos envolventes relativamente pouco eficientes, ou seja com coeficientes de transmissão térmica elevados, (0,54/0,56 W/m²°C nas paredes exteriores e 0,24/0,5 W/m²°C nas coberturas) levam a variantes ótimas do ponto de vista custo/benefício, pois os equipamentos utilizados têm rendimentos muito elevados.

É relevante avaliar que há algumas variantes, quer no caso de estudo 1 quer no caso 2, que não cumprem as condições regulamentares de acordo com a Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012 (Quadro 70).

Quadro 70 – Relação entre os valores das necessidades nominais e limite de energia útil (N_{tc}/N_t , N_{ic}/N_i e N_{vc}/N_v)

Ano de construção	N_{ic}/N_i	N_{vc}/N_v	N_{tc}/N_t
Anterior a 1960	Não aplicável	Não aplicável	1,50
Entre 1960 e 1990	1,25	1,25	1,50
Posterior a 1990	1,15	1,15	1,50

Constata-se que a relação N_{ic}/N_i , N_{vc}/N_v e N_{tc}/N_t entre 1960 e 1990 não é verificada em algumas variantes, nomeadamente a relação N_{ic}/N_i .

Analisando os Quadros 79 e 82 do ANEXO 7, referentes ao caso de estudo 1 e 2, respectivamente, pode constatar-se que a SOL1 nunca cumpre as condições regulamentares apresentadas no Quadro 70. Tal acontece devido essencialmente ao não cumprimento de N_{tc}/N_t , o que se deve à pouca eficiência dos sistemas de climatização e AQS desta solução.

No caso de estudo 1 as variantes que cumprem as condições regulamentares apresentam sistemas mais eficientes e envolventes com características térmicas mínimas. Verifica-se que apenas as variantes com coeficiente de transmissão térmica inferiores a $0,54 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$ (ETICS com EPS 60) nas paredes exteriores cumprem a regulamentação. Já na cobertura esse valor máximo é de $0,5/0,46 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$ (PIR40) requerendo neste caso que a restante envolvente seja bastante exigente também, ou seja com coeficientes de transmissão térmica baixos. No pavimento térreo a resistência térmica mínima é de $1,5 \text{ m}^2\text{°C}/\text{W}$ (correspondente a uma variante com XPS 50 no pavimento). À exceção da SOL1 todas as variantes ótimas (de cada uma das soluções estudadas) cumprem as condições regulamentares.

No caso de estudo 2 apenas as variantes pertencentes à SOL1 não cumprem as condições regulamentares e como já explicado esta solução não é interessante do ponto de vista custo/benefício.

Convém no entanto referir que na análise de custo/benefício a verificação das relações do quadro acima não é relevante, já que o objetivo é a identificação da variante ótima cruzando não apenas as necessidades energéticas do edifício reabilitado, mas também os custos globais associados a essa

reabilitação ao longo de um período temporal definido. No entanto, parece lógico que a regulamentação de cada EM seja cumprida nessa análise.

Ao analisar os dois casos de estudo é possível verificar que as medidas de reabilitação que levam a variantes ótimas dependem não só dos equipamentos (tipo, eficiência e fonte de energia), mas também das opções consideradas na envolvente opaca e transparente. Conclui-se que uma intervenção deve sempre considerar as três vertentes da reabilitação energética (envolventes opaca e transparente e respectivos coeficientes de transmissão térmica, sistemas e equipamentos de climatização e AQS e equipamentos de produção de energia renovável), pois estas estão interligadas e os custos globais associados a cada variante, depende das três de forma não linear.

5. CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA ESTUDADAS

Neste Capítulo pretende-se estudar vários cenários que podem alterar a identificação das variantes ótimas. Os cenários têm em consideração a alteração de parâmetros importantes como a localização, taxas de desconto ou taxas de evolução de preço de energia. Esta análise de sensibilidade é importante já que alguns destes parâmetros, como a taxa de evolução do preço da energia, são parâmetros previstos e com elevado grau de incerteza. Por outro lado a localização, nomeadamente a alteração da zona climática e meio rural ou urbano também influenciam o cálculo, quer das necessidades energéticas, quer dos custos globais. Os vários cenários analisados poderão contribuir para avaliar a alteração, ou não, das variantes ótimas de cada uma das soluções. Poderão também permitir avaliar a influência dos parâmetros alterados na identificação da variante ótima. Pretende-se ainda neste capítulo apresentar algumas comparações e conclusões relativamente aos cenários analisados.

5.1. Cenário 1 - Alteração da localização geográfica do edifício (Bragança e Faro)

Alterando a localização geográfica do edifício de Vila Nova de Gaia para outras regiões climáticas verificar-se-á a influência da região e seu clima nos resultados e variáveis ótimas de cada solução, nomeadamente comparando as diferenças de custos globais.

Assim, foram determinadas as Nic, Nvc, Nac e Ntc deste edifício admitindo que este se localizava em:

- Bragança (Região NUTS III Alto Trás-os-Montes), região B e rugosidade II a uma altitude de 650m. A distância à costa é superior a 5km e o edifício situado na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.
- Faro (Região NUTS III Algarve), região B e rugosidade II a uma altitude de 20m. A distância à costa é inferior a 5km e o edifício situado na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.

As restantes características do edifício e medidas de melhoria foram consideradas iguais ao caso de estudo em Vila Nova de Gaia.

Em ambos os casos Taxa de Ocupação do Solo (TOS) a considerar para efeitos de custo energético do Gás na perspetiva privada é nula (ERSE, 2011).

BRAGANÇA

É pertinente desde logo verificar pela Figura 27 abaixo que a localização relativa das diferentes soluções se mantém idêntica à de Vila Nova de Gaia o que permite perceber que essa localização no gráfico custos globais/necessidades energéticas não depende significativamente da localização nem das medidas aplicadas na envolvente, mas sim do tipo (rendimento e fonte energética) de equipamentos utilizados.

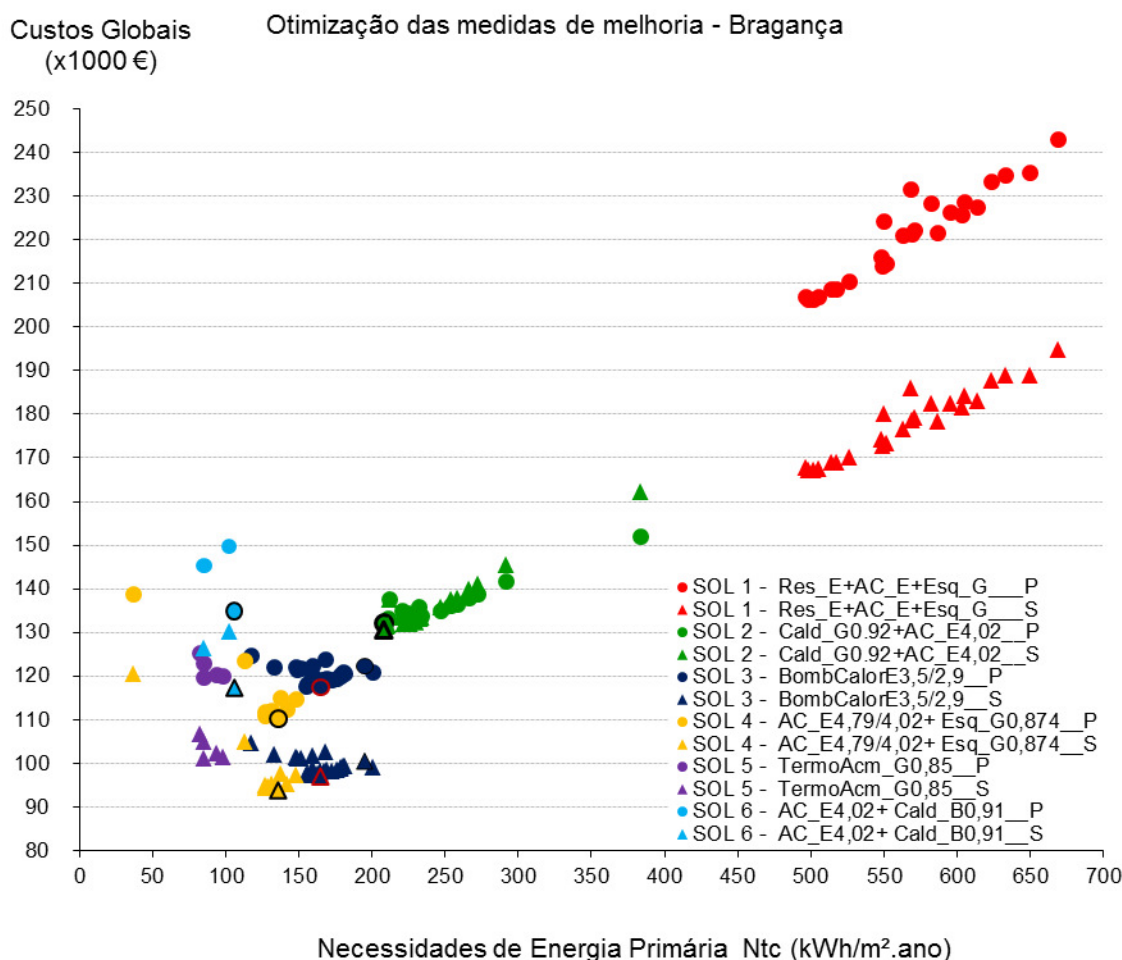


Figura 27 – Otimização das Medidas Melhoria - BRAGANÇA

Por outro lado, os Custos Globais e as Necessidades Energéticas aumentam significativamente o que é expectável já que Bragança pertence a uma zona climática mais exigente, nomeadamente com maiores valores de Nic.

Outra observação relevante é que as variantes ótimas para cada solução em Vila Nova de Gaia são as mesmas que para a localização em Bragança (Quadro 71). As variantes ótimas para Bragança são:

Quadro 71 – Variantes ótimas - Bragança

SOL	Variantes	Descrição	Custos Globais (30 anos) (€)		Ntc (kWh/m ² .ano)
			Privada	Social	Total
1	VAR70	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	206.321	167.252	501,74
2	VAR42	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,3+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	132.095	130.573	207,98
3	VAR35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	117.420	96.978	164,69
4	VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	110.212	93.788	135,72
5	VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST9,6	119.516	101.014	85,39
6	VAR89	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Cald_B0,91	134.876	117.326	105,87

Em Bragança a SOL 1 é bastante mais onerosa e energeticamente menos eficiente que em Vila Nova de Gaia, atingindo valores de necessidades energéticas muito grandes.

Comparativamente, os custos globais da SOL1 em Bragança aumentam cerca de 50000€ em ambas as perspetivas o que corresponde a um aumento de aproximadamente 25% nos custos globais ao fim de 30 anos de análise. Assim, esta solução é de facto muito pouco interessante em ambas as localizações. Verifica-se que as Ntc das variantes das soluções mais interessantes se afastam do valor determinado em VN Gaia de 100kWh/m².ano. e aumentam para cerca de 135/160kWh/m².ano.

Verifica-se que a variante ótima para Bragança é ainda a VAR64 da SOL4 (Quadro 71) cujas características térmicas da envolvente se encontram no Quadro 72.

Quadro 72 – Características térmicas da Envolvente da variante ótima - Bragança

Medidas Ótimas	Paredes Exteriores EPS60	Cobertura (Uasc/Udesc) PIR40	Pavimento Térreo PIR40	Envidraçados Vidro duplo com caixilharia em PVC e corte térmico
U (W/m ² .°C)	0,54	0,50/0,46		2,1
R (m ² .°C/W)			1,8	

É relevante avaliar que há algumas variantes que não cumprem as condições impostas de requisitos regulamentares de acordo com a Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012 (ver ponto 4.3)

FARO

Como era expectável verifica-se uma diminuição significativa das Necessidades de Energia Primária, nomeadamente de Aquecimento (Nic) relativamente à localização Vila Nova de Gaia. Este facto também se reflete no valor dos custos globais que diminuem. Comparando a Figura 7 e Figura 28 é visível esta diminuição.

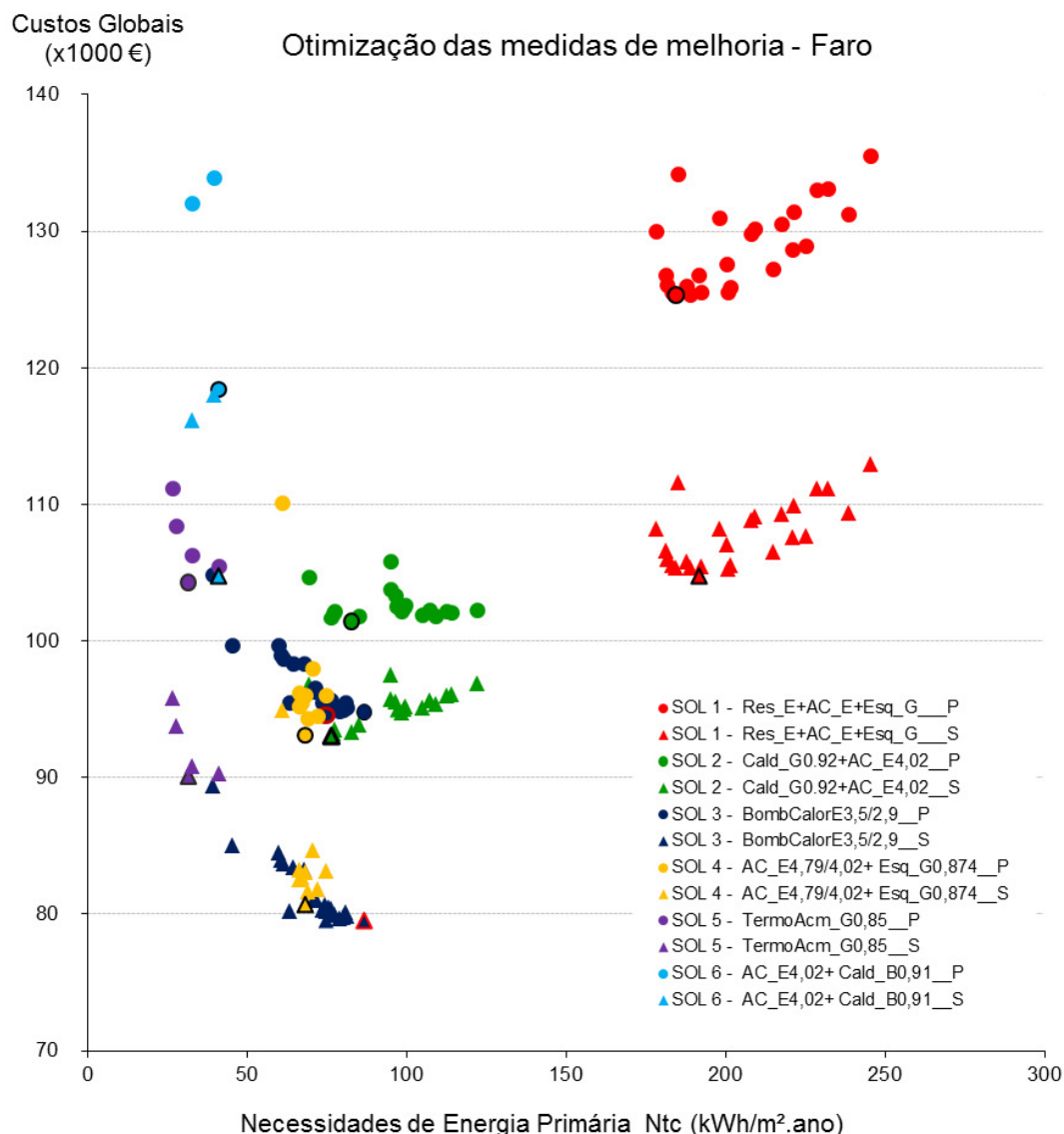


Figura 28 – Otimização das Medidas Melhoria - FARO

Tal como em Bragança a localização relativa das diversas soluções é muito semelhante, o que vem confirmar que na rentabilidade de uma reabilitação energética é mais relevante o tipo (rendimento e fonte de energia) de equipamento, e apenas depois se dá a otimização das medidas de reabilitação na envolvente.

Tal como nas localizações já analisadas, a SOL1 é muito pouco interessante já que todas as suas variantes de afastam do ponto ótimo custo/benefício. As soluções 3 e 4 são as que apresentam custos globais mais baixos com níveis de necessidades energéticas razoáveis e regulamentares.

Verifica-se no entanto que as variantes ótimas de cada solução são diferentes daquelas encontradas para Vila Nova de Gaia e Bragança. Constata-se que em Faro as variantes ótimas não são as mesmas na perspetiva social e privada (Quadro 73).

Quadro 73 – Variantes ótimas - Faro

SOL	Variantes	Descrição	Custos Globais 30 anos (€)		Ntc (kWh/m ² .ano)
			Privada	Social	Total
1	VAR19	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,3+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7	126.802	104.766	191,67
	VAR69	Env_EPS140+Cob_XPS120+PT_XPS100+Vidr_U2,3+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	125.353	105.402	184,48
2	VAR20	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,3+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7m2	101.440	93.347	82,73
	VAR42	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,3+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	101.682	93.045	76,37
3	VAR35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	94.590	79.546	74,68
	VAR47	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	94.812	79.539	86,66
4	VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	93.086	80.712	68,20
5	VAR81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,3+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	104.300	90.113	31,57
6	VAR89	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Cald_B0,91	118.426	104.765	41,02

É possível perceber, também graficamente (Figura 28), que a variante ótima pertence agora a diferentes soluções. A variante ótima é a VAR 64 na perspetiva privada e na perspetiva social é a VAR47. A grande diferença entre as duas variantes ótimas (na perspetiva social e privada) prende-se com o tipo de equipamento utilizado para aquecimento, arrefecimento e AQS, bem como a fonte de energia utilizada. No que diz respeito à envolvente existem diferenças quer no tipo, quer na espessura do isolamento, contudo se compararmos a VAR64 com a VAR35 (variante com custos globais imediatamente a seguir à VAR47 na perspetiva social) verifica-se que a envolvente é exatamente a mesma que na VAR64. Assim, é possível validar a VAR64 e VAR35 como sendo as que apresentam a envolvente ótima. É pertinente verificar que independentemente da localização, Vila Nova de Gaia e Bragança, a VAR 64 apresenta-se como a variante ótima ou muito próxima dela, no caso de Faro, em ambas as perspetivas.

Do ponto de vista estritamente energético verifica-se que as Ntc são inferiores em Faro comparativamente às restantes localizações estudadas.

Em ambas as variantes (VAR64 e 47) os custos globais são inferiores àqueles verificados se o edifício estivesse localizado em Vila Nova de Gaia (cerca de 6000/7000€) e, como seria de esperar, ocorre uma diminuição muito significativa de Nic (quase metade relativamente a Vila Nova de Gaia) mas um aumento de cerca de três vezes das Nvc. No entanto, as Nvc apesar de tudo são bastante reduzidas (entre os 12 e 14 kW/m².ano) o que leva a custos energéticos mais baixos que os custos energéticos inerentes ao aquecimento. Devido a este facto os custos globais são mais baixos.

5.2. Cenário 2 - Alteração do fator de obstrução (zona urbana/zona rural)

A análise do edifício em estudo, localizado em Vila Nova de Gaia, foi baseada num coeficiente de obstrução de horizonte de 45° (ângulo considerado por defeito para ambiente urbano). Por forma a perceber a influência deste ângulo nos resultados obtidos foram estudadas as 3 melhores medidas das soluções 3, 4 e 5 com um ângulo de 20° (ângulo considerado por defeito para ambiente rural). Assim, foram estudadas as VAR 12, 35, 43 (SOL3), VAR 58, 64, 86 (SOL 4) e VAR81, 83, 85 (SOL5) (Quadro 74 e Figura 29).

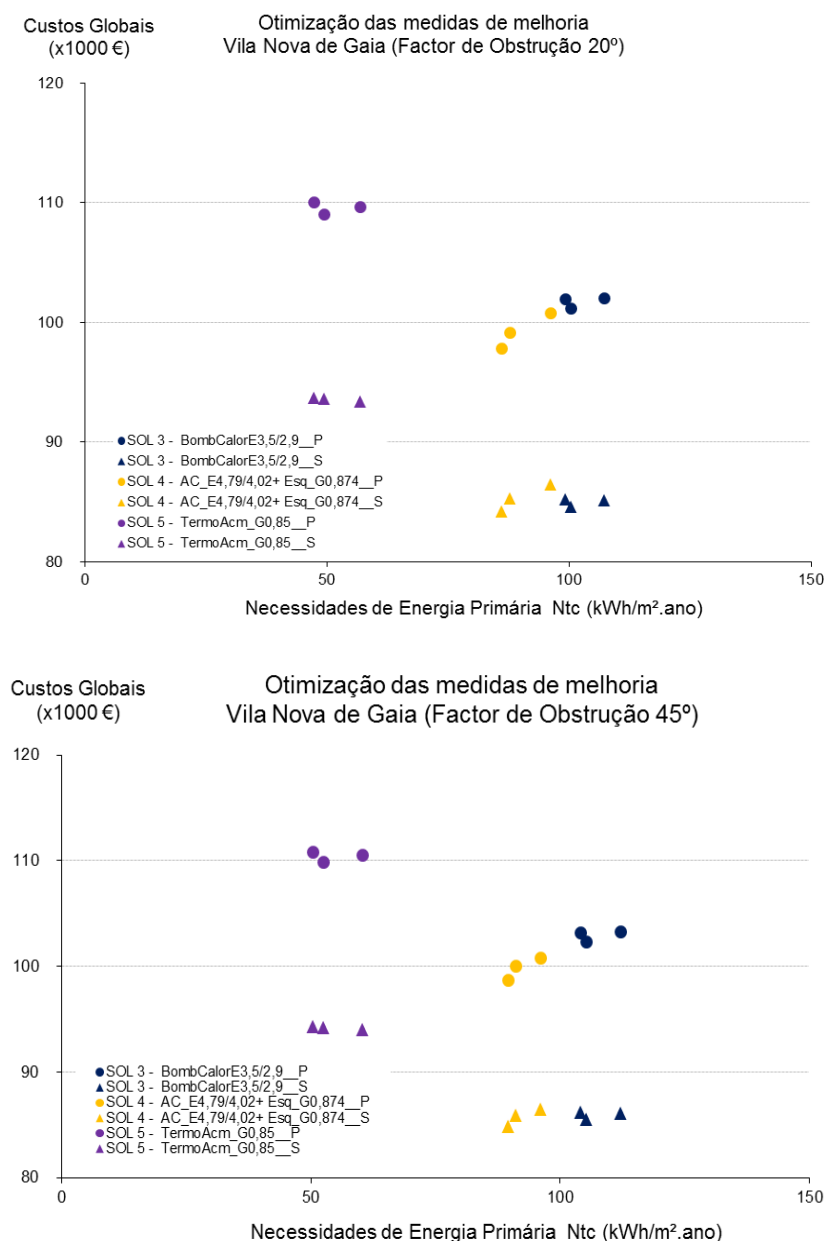


Figura 29 – Comparação de 9 variantes com diferentes ângulos de obstrução horizonte (45° e 20° em Vila Nova de Gaia)

Quadro 74 – Comparação de 9 variantes com diferentes ângulos de obstrução horizonte (45° e 20° em Vila Nova de Gaia)

Variante	Descrição	Custos totais (30 anos)		Nic	Nvc	Nac	Ntc
		Privada	Social	(kWh/m².ano)			
Ângulo de Obstrução Horizonte 45°							
VAR12	Env_EPS50+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,3 +BombCalorE3,5/2,9	103.232 €	86.091 €	126,22	4,98	24,68	112,08
VAR35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,3+BombCalorE3,5/2,9	102.334 €	85.458 €	116,75	4,86	24,68	105,21
VAR43	Env_PIR40+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,3+BombCalorE3,5/2,9	103.121 €	86.128 €	115,23	4,81	24,68	104,08
VAR81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,3+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	109.828 €	94.197 €	111,04	4,62	24,68	52,66
VAR83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,3+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST5,7	110.516 €	94.030 €	100,47	4,60	24,68	60,40
VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,3+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST9,6	110.838 €	94.251 €	91,52	4,14	24,68	50,47
VAR86	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,3+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	100.036 €	85.927 €	114,97	4,80	24,68	91,23
VAR58	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS40+Vidr_U2.3+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	100.737 €	86.447 €	124,70	4,56	24,68	96,16
VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2.3+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	98.674 €	84.842 €	111,60	4,89	24,68	89,53
Ângulo de Obstrução Horizonte 20°							
VAR12	Env_EPS50+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,3 +BombCalorE3,5/2,9	102.012 €	85.160 €	119,49	4,98	24,68	107,27
VAR35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,3+BombCalorE3,5/2,9	101.133 €	84.541 €	110,12	4,86	24,68	100,48
VAR43	Env_PIR40+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,3+BombCalorE3,5/2,9	101.914 €	85.207 €	108,57	4,81	24,68	99,33
VAR81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,3+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	109.034 €	93.590 €	105,04	4,62	24,68	49,52
VAR83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,3+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST5,7	109.649 €	93.368 €	93,92	4,60	24,68	56,98
VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,3+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST9,6	110.062 €	93.659 €	85,66	4,14	24,68	47,41
VAR86	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,3+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	99.167 €	85.263 €	108,31	4,88	24,68	87,80
VAR58	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS40+Vidr_U2.3+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	100.737 €	86.447 €	124,70	4,56	24,68	96,16
VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2.3+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	97.796 €	84.172 €	104,97	4,89	24,68	86,07

Depois de analisadas estas variantes com um ângulo de obstrução de 20°, correspondente a uma zona rural, conclui-se que os custos globais neste caso são ligeiramente inferiores. Este facto deve-se à diminuição do custo de exploração já que as necessidades energéticas, nomeadamente de aquecimento são inferiores. O facto de o edifício estar numa zona rural permite-lhe ter ganhos solares pelos envidraçados, o que numa zona urbana rodeado por edifícios altos, não permite.

A relação entre as variantes não se altera como é visível na Figura 29, ou seja o ângulo de obstrução influência os custos globais e necessidades energéticas, mas de forma proporcional, como explicado na parágrafo anterior, e como tal não é fundamental na identificação da variante ótima.

5.3. Cenário 3 - Alteração da taxa de desconto na perspectiva privada para 4% e 3%

Neste cenário foi considerada a localização de Vila Nova de Gaia para o edifício em estudo e um angulo de obstrução de 45°.

A alteração da taxa de desconto na perspectiva privada vai “afastar” o valor dos custos globais das duas perspectivas. Tal é expectável e verifica-se na análise das figuras 30,31 e 32 abaixo.

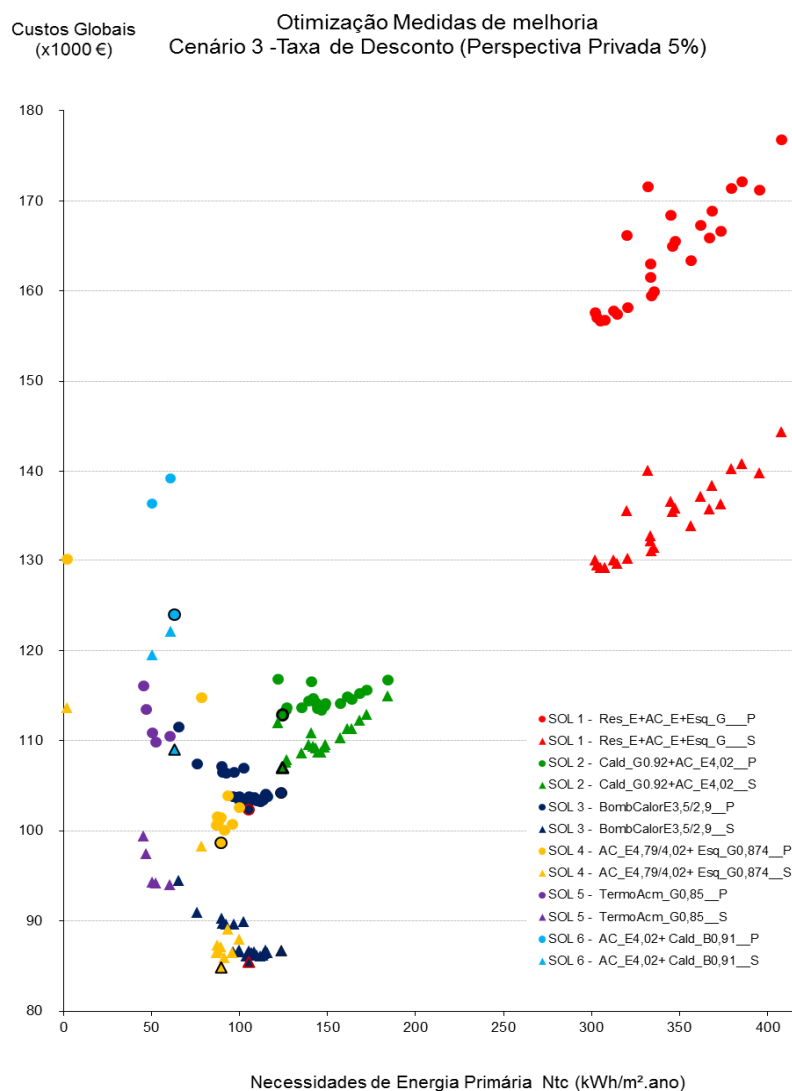


Figura 30 – Cenário 3 - Relação Custos Globais/ Ntc (Taxa desconto Persp. Privada - 5%)

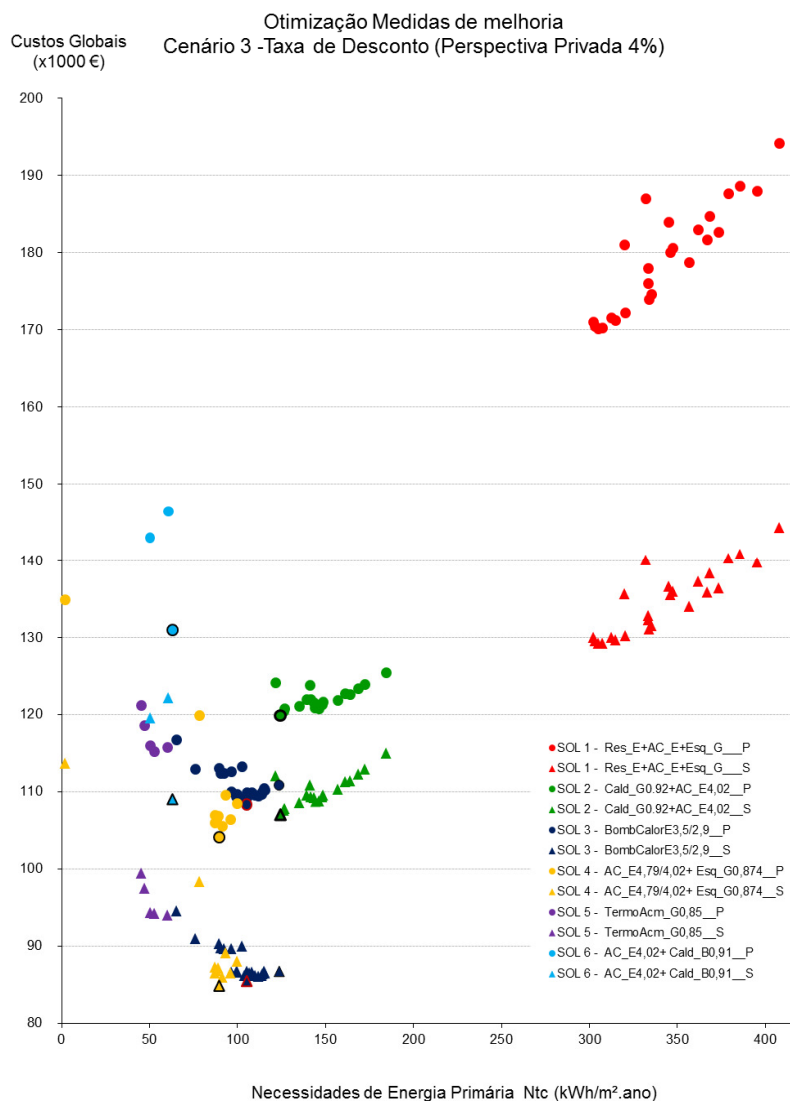


Figura 31 – Cenário 3 - Relação Custos Globais/ Ntc (Taxa desconto Persp. Privada - 4%)

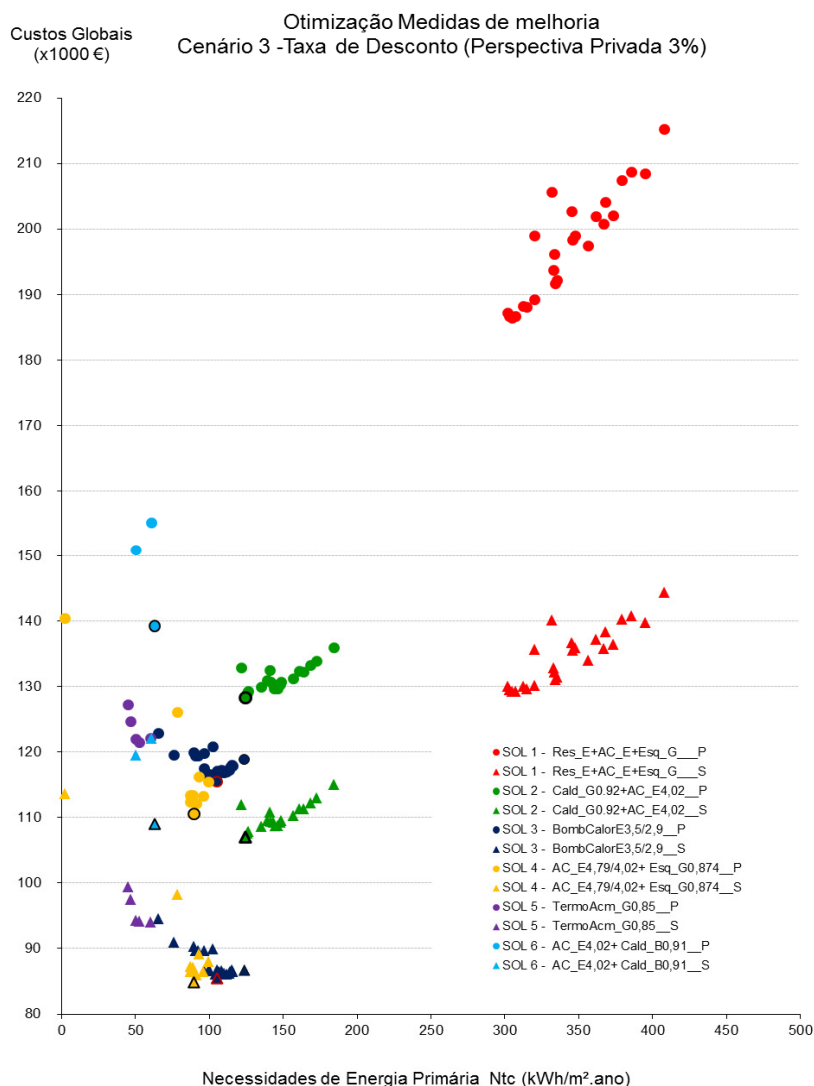


Figura 32 – Cenário 3 - Relação Custos Globais/ Ntc (Taxa desconto Persp. Privada - 3%)

O Custo Global na perspetiva social não é alterado já que a taxa de desconto se mantém nos 3%, contudo o facto da taxa de desconto na perspetiva privada diminuir vai aumentar os respetivos custos globais.

A variação atinge os 22% (na SOL1) quando comparamos as taxas de 5% e 3%, no entanto este valor desce para cerca de 12% quando comparamos as SOL3 e 13% quando analisamos a SOL4 (Soluções estas onde se identificam as variantes ótimas).

Isto significa que a variação da taxa de desconto em apenas 2% representa variações nos custos globais das várias soluções estudadas muito significativas, na ordem de uma ou duas dezenas (Quadro 75). Note-se que as variantes ótimas de cada solução não se alteram variando a taxa de desconto de 5% para 4% ou 3% (Quadro 75) o que significa que do ponto de vista do investimento privado a opção de reabilitação deverá ser sempre a variante ótima. O investidor privado deve

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

avaliar o valor dos Custos Globais em função da taxa de desconto utilizada, mas do ponto de vista técnico as variantes ótimas de reabilitação serão as mesmas independentemente da taxa de desconto, dentro do intervalo temporal testado.

Quadro 75 – Comparação de três Taxas de Desconto (Perspetiva Privada)

Solução	Descrição	Taxa de Desconto utilizada na Perspetiva Privada			Variação	
		3%	4%	5%	5%-3%	5%-4%
		Custos Globais (30 anos) €				
SOL1						
VAR00	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	215.221 €	194.140 €	176.807 €	21,7%	9,8%
VAR01	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	208.721 €	188.653 €	172.148 €	21,2%	9,6%
VAR02	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	204.015 €	184.722 €	168.851 €	20,8%	9,4%
VAR03	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	208.413 €	188.000 €	171.214 €	21,7%	9,8%
VAR04	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	202.023 €	182.607 €	166.638 €	21,2%	9,6%
VAR05	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	197.404 €	178.751 €	163.407 €	20,8%	9,4%
VAR18	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7	202.682 €	183.882 €	168.404 €	20,4%	9,2%
VAR19	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7	196.071 €	177.912 €	162.960 €	20,3%	9,2%
VAR21	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7+RenFV10,08	205.594 €	186.950 €	171.583 €	19,8%	9,0%
VAR22	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7+RenFV10,08	198.983 €	180.980 €	166.139 €	19,8%	8,9%
VAR24	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	198.904 €	180.563 €	165.472 €	20,2%	9,1%
VAR25	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	192.215 €	174.526 €	159.969 €	20,2%	9,1%
VAR30	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	207.430 €	187.641 €	171.365 €	21,0%	9,5%
VAR31	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	200.742 €	181.604 €	165.862 €	21,0%	9,5%
VAR36	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2.5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	198.281 €	179.999 €	164.957 €	20,2%	9,1%
VAR37	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	191.583 €	173.953 €	159.446 €	20,2%	9,1%
VAR44	Env_EPS100+Cob_XPS100+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	189.186 €	172.175 €	158.173 €	19,6%	8,9%
VAR45	Env_EPS100+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	201.924 €	182.919 €	167.284 €	20,7%	9,3%
VAR48	Env_EPS120+Cob_XPS100+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	188.205 €	171.532 €	157.807 €	19,3%	8,7%
VAR49	Env_EPS120+Cob_XPS40+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	193.648 €	176.034 €	161.540 €	19,9%	9,0%
VAR67	Env_EPS120+Cob_XPS100+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	188.008 €	171.248 €	157.452 €	19,4%	8,8%
VAR69	Env_EPS140+Cob_XPS120+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	186.700 €	170.265 €	156.735 €	19,1%	8,6%

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Solução	Descrição	Taxa de Desconto utilizada na Perspetiva Privada			Variação	
		3%	4%	5%	5%-3%	5%-4%
	02+Esq_G0,874					
VAR70	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	186.443 €	170.109 €	156.662 €	19,0%	8,6%
VAR71	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	186.642 €	170.394 €	157.018 €	18,9%	8,5%
VAR72	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	187.157 €	170.953 €	157.612 €	18,7%	8,5%
SOL3						
VAR09	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	117.843 €	110.175 €	103.811 €	13,5%	6,1%
VAR10	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	116.892 €	109.481 €	103.327 €	13,1%	6,0%
VAR11	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	116.457 €	109.240 €	103.245 €	12,8%	5,8%
VAR12	Env_EPS50+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	116.969 €	109.463 €	103.232 €	13,3%	6,0%
VAR13	Env_EPS40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	117.562 €	109.965 €	103.659 €	13,4%	6,1%
VAR14	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS50+Vidr_U2,1 +BombCalorE3,5/2,9	118.047 €	110.403 €	104.058 €	13,4%	6,1%
VAR15	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11.2	120.754 €	113.243 €	106.990 €	12,9%	5,8%
VAR16	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11.2	119.803 €	112.549 €	106.506 €	12,5%	5,7%
VAR17	Env_EPS60+Cob_XPS 60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11.2	119.368 €	112.309 €	106.424 €	12,2%	5,5%
VAR27	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	116.562 €	109.588 €	103.792 €	12,3%	5,6%
VAR29	Env_PIR 50+Cob_XPS40_PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	117.037 €	109.811 €	103.808 €	12,7%	5,8%
VAR33	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	117.151 €	109.809 €	103.711 €	13,0%	5,9%
VAR35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	115.512 €	108.314 €	102.334 €	12,9%	5,8%
VAR39	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	116.282 €	109.320 €	103.534 €	12,3%	5,6%
VAR41	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	117.473 €	110.003 €	103.800 €	13,2%	6,0%
VAR43	Env_PIR40+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	116.224 €	109.067 €	103.121 €	12,7%	5,8%
VAR47	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	118.872 €	110.852 €	104.199 €	14,1%	6,4%
VAR52	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	116.930 €	109.651 €	103.605 €	12,9%	5,8%
VAR53	Env_EPS40+Cob_PIR40+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	117.246 €	109.674 €	103.389 €	13,4%	6,1%
VAR17 A	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2m2	119.329 €	112.342 €	106.518 €	12,0%	5,5%
VAR17 B	Env_XPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2m2	119.934 €	112.976 €	107.175 €	11,9%	5,4%
VAR17 C	Env_XPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2m2 + ST5,7	119.570 €	112.927 €	107.380 €	11,4%	5,2%
VAR17 D	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2m2 + ST5,7	122.901 €	116.693 €	111.502 €	10,2%	4,7%
SOL5						
VAR81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	121.480 €	115.144 €	109.828 €	10,6%	4,8%
VAR82	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	124.650 €	118.568 €	113.459 €	9,9%	4,5%
VAR83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST5,7	122.040 €	115.765 €	110.516 €	10,4%	4,7%
VAR84	Env_XPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	127.194 €	121.131 €	116.038 €	9,6%	4,4%
VAR85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+	121.987 €	115.922 €	110.838 €	10,1%	4,6%

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Solução	Descrição	Taxa de Desconto utilizada na Perspetiva Privada			Variação	
		3%	4%	5%	5%-3%	5%-4%
	TermoAcm_G0,85+RenST9,6					
SOL4						
VAR86	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	112.067 €	105.501 €	100.036 €	12,0%	5,5%
VAR87	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2.3+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874 +RenFV44,8+ST 5,7	140.450 €	134.902 €	130.180 €	7,9%	3,6%
VAR88	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	116.201 €	109.499 €	103.923 €	11,8%	5,4%
VAR57	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	115.477 €	108.426 €	102.563 €	12,6%	5,7%
VAR58	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	113.194 €	106.394 €	100.737 €	12,4%	5,6%
VAR59	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	126.013 €	119.864 €	114.739 €	9,8%	4,5%
VAR61	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	112.345 €	105.948 €	100.620 €	11,7%	5,3%
VAR62	Env_EPS60+Cob_XPS140+ PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	113.311 €	106.824 €	101.424 €	11,7%	5,3%
VAR64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	110.564 €	104.075 €	98.674 €	12,0%	5,5%
VAR65	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1 +AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	112.815 €	106.368 €	101.001 €	11,7%	5,3%
VAR68	Env_EPS80+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	113.316 €	106.915 €	101.585 €	11,5%	5,2%
SOL6						
VAR89	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Cald_B0,91	139.259 €	130.949 €	123.999 €	12,3%	5,6%
VAR90	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Cald_B0,91	150.913 €	143.034 €	136.435 €	10,6%	4,8%
VAR91	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Cald_B0,91	155.160 €	146.460 €	139.227 €	11,4%	5,2%
SOL2						
VAR06	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02	133.877 €	123.891 €	115.628 €	15,8%	7,1%
VAR07	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02	132.203 €	122.571 €	114.600 €	15,4%	7,0%
VAR08	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02	131.210 €	121.849 €	114.098 €	15,0%	6,8%
VAR20	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02+RenST5,7m2	129.877 €	121.009 €	113.651 €	14,3%	6,5%
VAR23	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7+RenFV10,08	132.789 €	124.077 €	116.830 €	13,7%	6,2%
VAR26	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	130.610 €	121.587 €	114.114 €	14,5%	6,5%
VAR28	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	129.277 €	120.748 €	113.667 €	13,7%	6,2%
VAR32	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	132.268 €	122.732 €	114.838 €	15,2%	6,9%
VAR34	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	130.935 €	121.892 €	114.391 €	14,5%	6,6%
VAR38	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	130.284 €	121.280 €	113.822 €	14,5%	6,6%

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Solução	Descrição	Taxa de Desconto utilizada na Perspetiva Privada			Variação	
		3%	4%	5%	5%-3%	5%-4%
VAR40	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	128.951 €	120.440 €	113.375 €	13,7%	6,2%
VAR42	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+Ren ST5,7	128.315 €	119.883 €	112.881 €	13,7%	6,2%
VAR46	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	135.912 €	125.436 €	116.773 €	16,4%	7,4%
VAR54	Env_EPS40+Cob_PIR40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	133.168 €	123.345 €	115.216 €	15,6%	7,1%
VAR55	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	129.649 €	120.724 €	113.330 €	14,4%	6,5%
VAR56	Env_EPS120+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	129.689 €	120.850 €	113.526 €	14,2%	6,5%
VAR60	Env_EPS120+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	130.345 €	121.536 €	114.237 €	14,1%	6,4%
VAR63	Env_EPS100+Cob_XPS140+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	130.618 €	121.878 €	114.636 €	13,9%	6,3%
VAR66	Env_EPS100+Cob_XPS120+PT_XPS140+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	132.476 €	123.758 €	116.534 €	13,7%	6,2%

5.4. Cenário 4 - Alteração da taxa de evolução do preço da energia, considerando 2% e 4%

Admitindo a taxa de desconto da perspetiva privada de 5% e considerando a mesma localização, Vila Nova de Gaia e o mesmo Ângulo de Obstrução, 45°, é pertinente agora avaliar a importância da evolução do custo da energia (eletricidade e gás natural).

A taxa anual de evolução considerada foi de 3% contudo importa simular outros cenários para avaliar a influência deste parâmetro em ambas as perspetivas, privada e social. Nas Figuras 33, 34 e 35 é possível visualizar essa influência nas variantes analisadas.

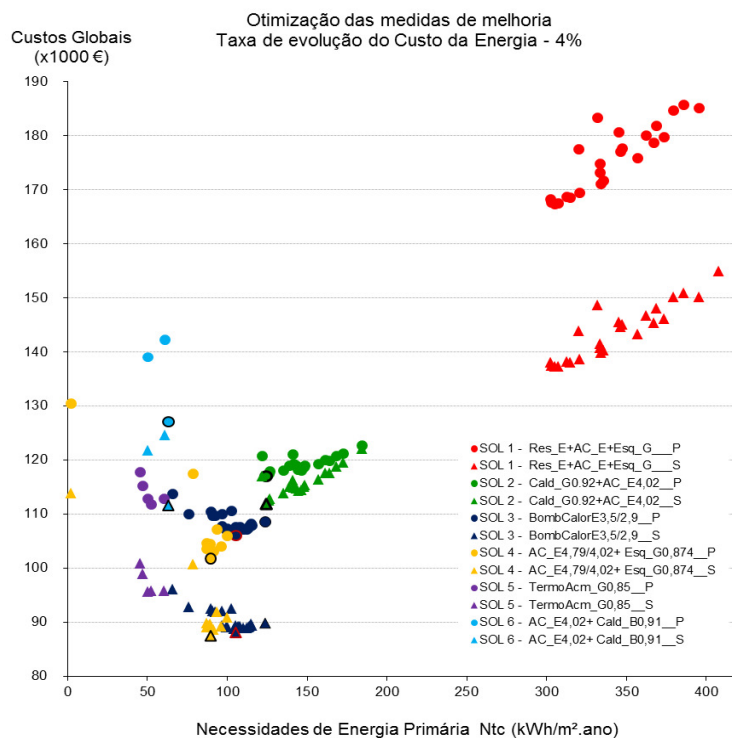


Figura 33 – Cenário 4 - Custos Globais/ Ntc (Taxa evolução do custo de Energia - 4%)

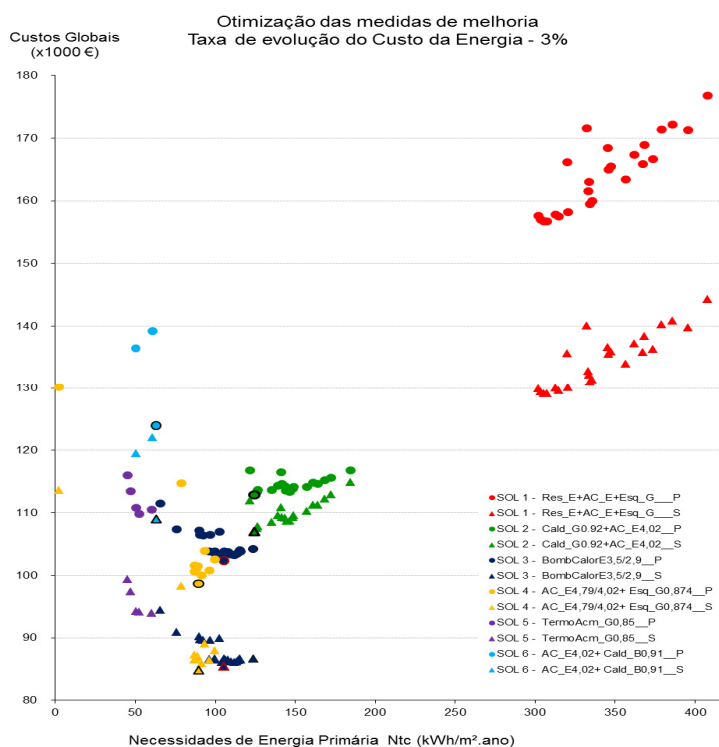


Figura 34 – Cenário 4 - Custos Globais/ Ntc (Taxa evolução do custo de Energia - 3%)

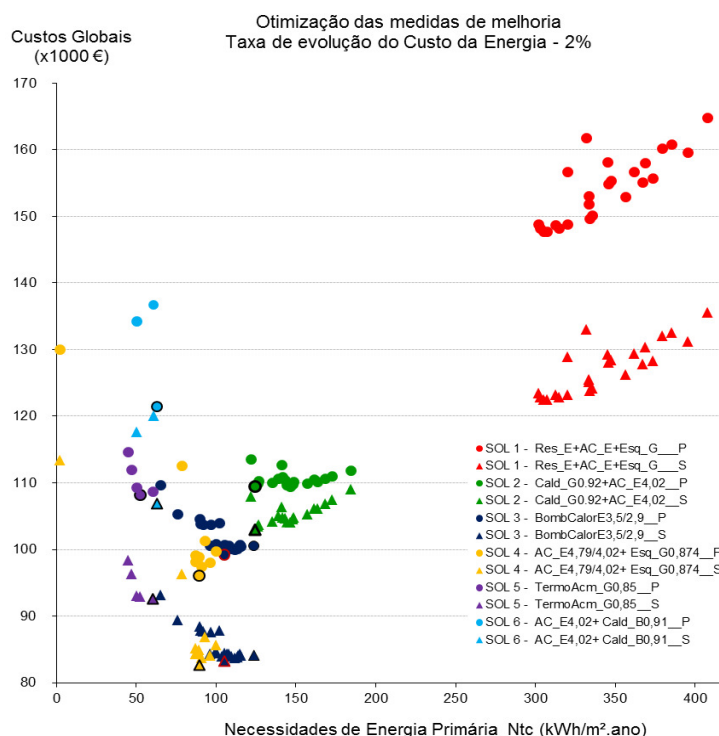


Figura 35 – Cenário 4 - Custos Globais/ Ntc (Taxa evolução do custo de Energia - 2%)

Como seria de esperar, este cenário apenas irá influenciar os custos globais verificando-se que estes diminuem quando a taxa de evolução passa de 4% para 2%. Este facto deve-se exclusivamente à redução dos custos de exploração que são para taxas menores, inferiores. No entanto, mais uma vez se verifica que apesar de uma variação pequena, de apenas 2%, os custos globais ao longo dos 30 anos (período de análise) variam entre 16%/2,7% e 14%/2,5%, na perspetiva privada e social, respetivamente (Quadro 76). Esta percentagem não é insignificante, aliás na variante ótima (VAR64) essa diferença é cerca de 6% (em ambas as perspetivas) o que se traduz num aumento de cerca de 5000€ dos custos globais (taxa a 4% e 2%). Assim, verifica-se que a taxa de evolução do custo de energia é um fator a ter em consideração aquando da análise custo/benefício.

Quadro 76 – Análise do impacto da alteração da taxa de evolução do custo de energia

		Variação da Taxa de Evolução do Custo da Energia						Variação 2%-4%	
		2%		3%		4%			
		Custos totais (30 anos) (€)						Privada	Social
VARIANTES		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social		
Solução 1									
00	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	164.814	135.524	176.807	144.348	191.050	154.926	15,9%	14,3%
01	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	160.812	132.487	172.148	140.848	185.611	150.871	15,4%	13,9%
02	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	158.020	130.389	168.851	138.395	181.714	147.991	15,0%	13,5%

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VARIANTES		Variação da Taxa de Evolução do Custo da Energia						Variação 2%-4%	
		2%		3%		4%			
		Custos totais (30 anos) (€)						Privada	Social
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social		
03	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	159.587	131.242	171.214	139.808	185.023	150.077	15,9%	14,4%
04	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	155.658	128.261	166.638	136.372	179.677	146.093	15,4%	13,9%
05	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	152.925	126.209	163.407€	133.968	175.855	143.269	15,0%	13,5%
18	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7	158.123	129.314	168.404	136.663	180.614	145.472	14,2%	12,5%
19	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7	153.028	125.133	162.960	132.236	174.755	140.751	14,2%	12,5%
21	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7+RenFV10,08	161.695	133.024	171.583	140.096	183.327	148.574	13,4%	11,7%
22	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874+RenST5,7+RenFV10,08	156.599	128.843	166.139	135.670	177.468	143.853	13,3%	11,6%
24	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	155.264	128.365	165.472	135.931	177.596	145.001	14,4%	13,0%
25	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	150.117	124.144	159.969	131.460	171.670	140.229	14,4%	13,0%
30	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	160.218	132.083	171.365	140.312	184.604	150.175	15,2%	13,7%
31	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	155.071	127.862	165.862	135.840	178.678	145.403	15,2%	13,7%
36	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	154.790	128.001	164.957	135.538	177.030	144.573	14,4%	12,9%
37	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	149.636	123.775	159.446	131.061	171.096	139.794	14,3%	12,9%
44	Env_EPS100+Cob_XPS100+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	148.766	123.207	158.173	130.208	169.344	138.601	13,8%	12,5%
45	Env_EPS100+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,5+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	156.645	129.345	167.284	137.215	179.920	146.649	14,9%	13,4%
48	Env_EPS120+Cob_XPS100+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	148.626	123.181	157.807	130.023	168.710	138.226	13,5%	12,2%
49	Env_EPS120+Cob_XPS40+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	151.748	125.516	161.540	132.789	173.168	141.507	14,1%	12,7%
67	Env_EPS120+Cob_XPS100+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	148.213	122.821	157.452	129.705	168.425	137.956	13,6%	12,3%
69	Env_EPS140+Cob_XPS120+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	147.712	122.495	156.735	129.227	167.452	137.296	13,4%	12,1%
70	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS100+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	147.704	122.513	156.662	129.198	167.299	137.211	13,3%	12,0%
71	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS120+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	148.119	122.874	157.018	129.518	167.586	137.482	13,1%	11,9%
72	Env_EPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+Res_E0,9+AC_E4,02+Esq_G0,874	148.743	123.397	157.612	130.020	168.144	137.958	13,0%	11,8%
Solução 3									
09	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.389	84.100	103.811	86.512	107.875	89.402	7,5%	6,3%
10	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.075	83.908	103.327	86.200	107.189	88.947	7,1%	6,0%

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

		Variação da Taxa de Evolução do Custo da Energia						Variação 2%-4%	
		2%		3%		4%			
		Custos totais (30 anos) (€)						Privada	Social
VARIANTES		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social		
11	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.123	84.001	103.245	86.201	106.952	88.838	6,8%	5,8%
12	Env_EPS50+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	99.916	83.755	103.232	86.091	107.169	88.892	7,3%	6,1%
13	Env_EPS40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.284	84.031	103.659	86.410	107.668	89.261	7,4%	6,2%
14	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.652	84.322	104.058	86.722	108.102	89.599	7,4%	6,3%
15	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+ RenFV11.2	103.960	87.810	106.990	89.945	110.588	92.504	6,4%	5,3%
16	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11.2	103.646	87.618	106.506	89.633	109.902	92.049	6,0%	5,1%
17	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+ RenFV11.2	103.695	87.711	106.424	89.634	109.665	91.939	5,8%	4,8%
27	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.835	84.651	103.792	86.734	107.303	89.232	6,4%	5,4%
29	Env_PIR50+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.688	84.481	103.808	86.679	107.512	89.314	6,8%	5,7%
33	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.512	84.299	103.711	86.554	107.511	89.257	7,0%	5,9%
35	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	99.222	83.265	102.334	85.458	106.030	88.087	6,9%	5,8%
39	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.589	84.463	103.534	86.538	107.031	89.026	6,4%	5,4%
41	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.516	84.272	103.800	86.586	107.700	89.360	7,1%	6,0%
43	Env_PIR40+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.042	83.958	103.121	86.128	106.777	88.729	6,7%	5,7%
47	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.541	84.129	104.199	86.707	108.544	89.797	8,0%	6,7%
52	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.447	84.261	103.605	86.487	107.355	89.154	6,9%	5,8%
53	Env_EPS40+Cob_PIR40+PT_XPS30+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9	100.030	83.829	103.389	86.196	107.379	89.034	7,3%	6,2%
17 A	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2m2	103.837	87.845	106.518	89.734	109.701	91.998	5,6%	4,7%
17 B	Env_XPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2m2	104.520	88.422	107.175	90.293	110.329	92.536	5,6%	4,7%
17 C	Env_XPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2m2 + ST5,7	105.225	89.424	107.380	90.942	109.940	92.763	4,5%	3,7%
17 D	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2m2 + ST5,7	109.654	93.185	111.502	94.487	113.696	96.047€	3,7%	3,1%
Solução 5									
81	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	108.186	92.925	109.828	94.197	111.777	95.721€	3,3%	3,0%
82	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+ TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	111.981	96.307	113.459	97.463	115.214	98.849	2,9%	2,6%

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

		Variação da Taxa de Evolução do Custo da Energia						Variação 2%-4%	
		2%		3%		4%			
		Custos totais (30 anos) (€)						Privada	Social
VARIANTES		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social		
83	Env_XPS100+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST5,7	108.646	92.597	110.516	94.030	112.738	95.748	3,8%	3,4%
84	Env_XPS140+Cob_XPS140+PT_XPS140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	114.615	98.318	116.038	99.436	117.728	100.776	2,7%	2,5%
85	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,7/4,02+TermoAcm_G0,85+RenST9,6	109.228	93.058	110.838	94.251	112.749	95.681	3,2%	2,8%
Solução 4									
86	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	97.410	83.703	100.036	85.927	103.155	88.592	5,9%	5,8%
87	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874 +RenFV44,8+ST 5,7	130.046	113.435	130.180	113.633	130.338	113.870	0,2%	0,4%
88	Env_PIR40+Cob_XPS50+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+Esq_G0,874	101.235	86.851	103.923	89.118	107.117	91.837	5,8%	5,7%
57	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	99.681	85.603	102.563	88.006	105.985	90.887	6,3%	6,2%
58	Env_PIR40+Cob_XPS30+PT_XPS40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	97.965	84.121	100.737	86.447	104.030	89.236	6,2%	6,1%
59	Env_PIR140+Cob_PIR 140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	112.486	96.321	114.739	98.281	117.414	100.631	4,4%	4,5%
61	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	98.116	84.346	100.620	86.484	103.595	89.047	5,6%	5,6%
62	Env_EPS60+Cob_XPS140+ PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	98.858	84.919	101.424	87.101	104.473	89.716	5,7%	5,6%
64	Env_EPS60+Cob_PIR40+PT_PIR40+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	96.098	82.653	98.674	84.842	101.733	87.465	5,9%	5,8%
65	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	98.468	84.630	101.001	86.788	104.010	89.375	5,6%	5,6%
68	Env_EPS80+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Esq_G0,874	99.078	85.128	101.585	87.267	104.562	89.832	5,5%	5,5%
Solução 6									
89	Env_EPS60+Cob_XPS80+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Cald_B0,91	121.446	106.885	123.999	109.021	127.032	111.582	4,6%	4,4%
90	Env_PIR140+Cob_PIR140+PT_PIR140+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Cald_B0,91	134.256	117.639	136.435	119.512	139.023	121.757	3,6%	3,5%
91	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,1+AC_E4,79/4,02+ Cald_B0,91	136.738	120.031	139.227	122.123	142.184	124.629	4,0%	3,8%
Solução 2									
06	Env_EPS40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02	110.957	107.427	115.628	112.954	121.176	119.580	9,2%	11,3%
07	Env_EPS50+Cob_XPS50+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02	110.162	106.079	114.600	111.330	119.870	117.624	8,8%	10,9%
08	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02	109.840	105.283	114.098	110.320	119.155	116.359	8,5%	10,5%
20	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02+RenST5,7m2	109.943	104.207	113.651	108.588	118.055	113.840	7,4%	9,2%
23	Env_EPS60+Cob_XPS60+PT_XPS60+Vidr_U2,1+Cald_G0.92+AC_E4,02+Ren	113.514	107.917	116.830	112.022	120.768	116.942	6,4%	8,4%

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VARIANTES		Variação da Taxa de Evolução do Custo da Energia						Variação 2%-4%	
		2%		3%		4%			
		Custos totais (30 anos) (€)						Privada	Social
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social		
	ST5,7m2+RenST5,7+RenFV10,08								
26	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	110.083	104.807	114.114	109.575	118.901	115.291	8,0%	10,0%
28	Env_EPS80+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	110.185	103.732	113.667	107.844	117.801	112.772	6,9%	8,7%
32	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	110.470	106.147	114.838	111.316	120.026	117.513	8,7%	10,7%
34	Env_PIR40+Cob_XPS40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	110.573	105.072	114.391	109.584	118.925	114.994	7,6%	9,4%
38	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	109.806	104.545	113.822	109.295	118.591	114.988	8,0%	10,0%
40	Env_PIR50+Cob_PIR50+PT_PIR50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+RenST5,7	109.909	103.469	113.375	107.563	117.491	112.470	6,9%	8,7%
42	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02+Ren ST5,7	109.465	102.973	112.881	107.010	116.939	111.850	6,8%	8,6%
46	Env_EPS30+Cob_XPS30+PT_XPS30+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	111.778	109.061	116.773	114.974	122.706	122.061	9,8%	11,9%
54	Env_EPS40+Cob_PIR40+PT_XPS40+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	110.652	106.865	115.216	112.267	120.637	118.742	9,0%	11,1%
55	Env_EPS100+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	109.363	104.049	113.330	108.743	118.040	114.370	7,9%	9,9%
56	Env_EPS120+Cob_PIR60+PT_XPS50+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	109.619	104.087	113.526	108.710	118.165	114.251	7,8%	9,8%
60	Env_EPS120+Cob_XPS80+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	110.354	104.620	114.237	109.216	118.850	114.725	7,7%	9,7%
63	Env_EPS100+Cob_XPS140+PT_XPS80+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	110.797	104.823	114.636	109.364	119.196	114.807	7,6%	9,5%
66	Env_EPS100+Cob_XPS120+PT_XPS140+Vidr_U2,1+Cald_G0,92+AC_E4,02	112.714	106.347	116.534	110.866	121.070	116.282	7,4%	9,3%

Verifica-se que mesmo alterando a taxa de evolução do custo de energia as variantes ótimas para cada solução se mantêm (a negrito no Quadro 76) à exceção da SOL5 (Termoacumulador). Nesta solução o aumento do custo energético levou a que fosse compensador aumentar a eficiência da envolvente opaca, bem como a contribuição das energias renováveis através do aumento da área dos painéis solares térmicos. Apesar dos custos iniciais serem mais elevados estes são compensados (pelos custos de exploração) mais rapidamente no caso em que a taxa de evolução do custo da energia é maior (4%). Assim, à exceção desta solução parece pertinente afirmar que neste intervalo de valores (2% a 4%) as variantes ótimas de cada solução não variam.

6. CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta dissertação permitiu estudar duas tipologias de edifícios habitacionais mais comuns em Portugal, moradias unifamiliares e edifícios multifamiliares de pequenas dimensões. Permitiu também perceber o seu comportamento do ponto de vista dos custos (de investimento e de exploração) e necessidades energéticas, quando sujeitos a diferentes medidas de reabilitação energética. Foram estudadas soluções de reabilitação tendo em consideração três vertentes: envolvente do edifício, sistemas de climatização e AQS e fontes de produção de energia renovável. Nas três vertentes estudadas foram utilizadas opções de reabilitação energética correntes em Portugal e relativamente bem conhecidas pelo mercado da construção e reabilitação. Na vertente da envolvente foi utilizada a opção ETICS nas paredes exteriores, isolamento térmico na cobertura e laje térrea (envolvente opaca) e vidro duplo com corte térmico (envolvente transparente). No que diz respeito à climatização e AQS foram considerados equipamentos correntes como o aquecedor elétrico, esquentador, a caldeira mural, a bomba de calor, o AC e termoacumuladores. Na vertente das energias renováveis foram analisados os sistemas solar térmico, painéis fotovoltaicos e caldeiras de biomassa (peletes).

No que diz respeito aos custos foram determinados os custos globais tendo em consideração os custos de investimento iniciais e os custos de exploração ao longo de 30 anos de acordo com o Regulamento Delegado nº 244/2012. Foram ainda consideradas a evolução do preço da energia (elétrica e gás natural) e os custos associados aos GEE.

Uma conclusão deste estudo em ambas as tipologias foi a influência muito significativa do tipo de equipamento para climatização e AQS na curva custo/benefício. Ao se avaliar os gráficos Custos Globais/Necessidades de Energia Primária para ambos os edifícios (à exceção do SOL5 – solução onde foi utilizado o AC para aquecimento e arrefecimento, e o termoacumulador para AQS) verifica-se que as soluções estudadas se encontram na mesma posição relativa em ambos os casos o que vem validar a relevância dos equipamentos nas soluções de reabilitação energética.

Verificou-se que os equipamentos mais eficientes, com rendimentos elevados, nomeadamente o AC permitem variantes mais eficientes do ponto de vista custo/benefício. Aliás, uma análise dentro de cada uma das soluções leva a concluir que quanto mais eficientes são os equipamentos de climatização e AQS mais a contribuição de envolvente para a identificação da variante ótima é desvalorizada.

Outra conclusão interessante é que o tradicional aquecedor elétrico não é a melhor opção do ponto de vista custo/benefício em nenhum tipo de edifício ou localização (no tempo de utilização de 30 anos). Verificou-se que as soluções de reabilitação ótimas em ambos os edifícios são as que utilizam o AC para climatização e o esquentador para o AQS. As soluções que utilizam a bomba de calor e o termoacumulador a gás também se apresentam muito próximas da zona ótima de custo/benefício. Para estas soluções é possível otimizar a envolvente opaca e transparente. Do ponto de vista da envolvente verificou-se que as variantes ótimas não são necessariamente as que apresentam envoltentes opacas e transparentes mais eficientes, ou seja com coeficientes de transmissão térmica menores. Aliás, verificou-se que as envoltentes das variantes ótimas são em geral pouco exigentes a este nível, nomeadamente comparando com os coeficientes de transmissão térmica destas variantes com os de referência indicados na Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012, para a zona climática em análise (I₂) (ANEXO 3, Tabela I.01). Este facto deriva da importância do tipo de equipamentos de climatização e AQS utilizados.

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente das variantes ótimas são, no caso de estudo 1- edifício unifamiliar, iguais nas três melhores soluções (SOL3, 4 e 5) o que parece indicar que de facto esses coeficientes serão o mais indicados quando se abordam as medidas de reabilitação energética a adotar na envolvente (Quadro 38). No caso de estudo 2, edifício multifamiliar, os coeficientes não são iguais nas três variantes ótimas das três melhores soluções, mas são bastante semelhantes, direcionando desta forma as medidas de reabilitação ótimas para uma zona ou intervalo de coeficientes de transmissão térmica mais interessantes do ponto de vista custo/benefício (Quadro 67).

Conclui-se também que, em geral, as energias renováveis não contribuem de forma muito positiva para a aproximação da variante/medida à variante ótima. A introdução de equipamentos para produção de energia renovável aumenta o custo global da medida de intervenção e diminui as necessidades de energia primária, como tal é necessário avaliar cuidadosamente a sua utilização.

Note-se que nos casos de estudo analisados não foi contabilizada qualquer introdução de energia na rede pública e como tal não foi considerado esse benefício económico. Apesar de tudo, a contribuição dos painéis solares térmicos foi a contribuição mais interessante dentro das opções estudadas. As análises efetuadas permitiram determinar que o nível de Necessidade de Energia Primária ótima ronda os 100kWh/m².ano para a zona geográfica em estudo.

Foi possível perceber também que o mesmo edifício (edifício unifamiliar – moradia) em zonas rurais e urbanas (na mesma zona climática) tem valores de custos globais e necessidades energéticas diferentes mas o conjunto de medidas ótimas de reabilitação para as soluções estudadas a aplicar é

independente da zona. Ou seja, a localização rural ou urbana parece não ser relevante (para a mesma zona climática e tipo de edifício).

Por outro lado, a alteração da zona climática dos edifícios vai obviamente influenciar o seu desempenho energético e como tal a variante ótima poderá ser diferente. As análises de sensibilidade efetuadas e aplicadas ao edifício unifamiliar permitiram retirar várias conclusões. Uma das conclusões mais pertinentes é que para as taxas de desconto na perspetiva privada utilizadas (5%, 4% e 3%) as variantes ótimas para cada solução não se alteraram. Também a variação introduzida na evolução do custo da energia (2%, 3% e 4%) não implicou a alteração da variante ótima, no entanto leva a aumentos na ordem de 6% nos custos globais. Assim, a taxa de evolução do custo energético deve ser considerado.

Esta dissertação é também conclusiva no que diz respeito à necessidade de uma intervenção global quando há uma eficaz reabilitação energética. Não é suficiente intervir apenas na vertente da envolvente, ou dos sistemas ou da produção de energia renováveis, é necessário identificar a combinação ótima destas três vertentes, pois estas estão interligadas e completam-se. Assim verifica-se a necessidade de haver um projeto não apenas de RCCTE ou RSECE mas um estudo económico que permita concluir qual a melhor medida de reabilitação para determinado edifício existente (habitacional ou não).

6.1. Propostas de trabalhos futuros

Esta dissertação não avalia todas as soluções e combinações possíveis, o que não caberia no tempo previsto para a sua realização. No entanto, e na sequência do exposto, são apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros e que podem considerar o tema deste trabalho como ponto de partida.

- Inclusão de forma mais detalhada na análise custo/benefício da influência de diferentes tipos de envidraçados e caixilharias (envolvente transparente);
- Avaliação da importância da medida de reabilitação que considera a caixilharia dupla na análise custo/benefício;
- Estudar outras medidas de reabilitação na envolvente opaca, por exemplo utilização isolamento térmico pelo interior;
- Utilização de outros isolantes como por exemplo a cortiça;
- Prever cenários com taxas de desconto de 2% e 1% na perspetiva privada;
- Estudar soluções de climatização e AQS com outros equipamentos e rendimentos;

- Avaliar a influência do pressuposto da temperatura de conforto ser constante durante todo o dia e igual a 18° na estação de aquecimento;
- A necessidade e influência da ventilação mecânica em edifícios habitacionais;
- A simulação de mais análises de sensibilidade;
- Avaliar a utilização de outras fontes de energia (por exemplo: combustível líquido) alargando desta forma o número de variantes analisadas;
- A aplicação da metodologia utilizada a edifícios de outras épocas construtivas e com características construtivas por isso diferentes (por exemplo após 1990)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEPE - [on-line em Dezembro 2012] Disponível em www.acepe.pt

ADENE – *Eficiência energética em equipamentos e sistemas elétricos no sector residencial*, Lisboa 2004 [on-line em Maio 2012]. Disponível em www.adene.pt

ADENE – Legislação Nacional, Agência para a Energia, Lisboa, *Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios* (SCE), Lisboa 2006 [on-line em Abril 2012]. Disponível em www.adene.pt

ADENE – Legislação Nacional, Agência para a Energia, Decreto, *Lei 79/2006 de 4 de Abril – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*, Lisboa 2006 [on-line em Abril 2012]. Disponível em www.adene.pt

ADENE – Legislação Nacional, Agência para a Energia, Decreto - *Lei 80/2006 de 4 de Abril – Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE)*, Lisboa 2006. [on-line em Abril 2012]. Disponível em www.adene.pt

ADENE – Nota Técnica: NT-SCE-01, *Método de cálculo simplificado para a certificação energética de edifícios existentes no âmbito do RCCTE*. Portugal: Agência para a Energia, Lisboa 2009 [on-line em Maio 2012]. Disponível em www.adene.pt

ADENE – *Relatório Síntese Março 2012*, Lisboa [on-line em Junho 2012]. Disponível em www.adene.pt

AGUAQUENTESOLAR - [on-line em Dezembro 2012] Disponível em www.aguaquentesolar.com

AICCOPN – Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas, Disponível em: www.aiccopn.pt [on-line em Junho 2012]

ANASTÁCIO, Susana Sousa – *Reabilitação energética em edifícios de habitação existente: um caso de estudo da Zona J*. ISCTE-IUL, Lisboa 2010

ARCELORMITTAL – [on-line Julho 2013] Disponível em www.arcelormittal.com

BPIE - *Implementing the Cost-optimal Methodology in EU Countries - Lessons learned from three case studies*, 2013 - [on-line Julho 2013] Disponível em www.bpie.eu

CERDEIRA, César E.C. - *Avaliação de Sistemas de Climatização em Edifícios Residenciais* -

Tese de Mestrado Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, 2011

CYPE – [on-line em Dezembro 2012 a Março 2013] Disponível em www.geradordeprecos.info

COSTA, P. - *Atlas do potencial eólico para Portugal Continental* - Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Junho 2004

DGEG – *Balanço Energético Sintético 2011* [on-line em Junho 2012]. Disponível em www.dgeg.pt

DGGE / IP-3E – *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*, Lisboa, Novembro 2004 [on-line em Junho 2012]. Disponível em www.adene.pt

DIÁRIO DA REPÚBLICA – 1.^a série - N.º 73 - 15 de Abril de 2010, *Resolução do Conselho de Ministros 29/2010, de 15 de Abril*.

DIÁRIO DA REPÚBLICA – 1.^a série - N.º 97 - 20 de Maio de 2008, *Resolução de Conselho de Ministros 80/2008 - PNAEE*, [on-line em Maio 2012]. Disponível em www.adene.pt

DIÁRIO DA REPÚBLICA – 2.^a série—N.º 108—5 de Junho de 2007 - *Portaria n.º 461/2007 de 5 de Junho* [on-line em Abril 2012]. Disponível em www.adene.pt

DIÁRIO DA REPÚBLICA – 1.^a série — N.º 70 — 10 de Abril de 2013, *Resolução de Conselho de Ministros 20/2013 - PNAEE*, [on-line em Junho 2013]. Disponível em www.dre.pt

DINIS, Rita Sofia de Carvalho – *Contributos para a Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Lisboa 2010

ECEE – European Council of Energy Efficiency [on-line em Abril 2012]. Disponível em www.eceee.org

ENERGIAS RENOVÁVEIS [on-line em Junho 2012]. Disponível em: www.energiasrenovaveis.com

EPBD – CA – *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Featuring Countries Report 2010*, Bruxelas, 2011 [on-line em Junho 2012]. Disponível em: www.epbd-ca.org

ERFI – [on-line Julho 2013] Disponível em www.erfi.pt

ERSE – Entidade reguladora dos Serviços Energéticos - *Tarifas de venda a clientes finais dos comercializadores de último recurso em BTN em Portugal Continental* - [on-line Julho 2013] Disponível em www.erse.pt

ERSE - Entidade reguladora dos Serviços Energéticos - *Composição dos Preços de Eletricidade, incluindo os Custos de Interesse Económico Geral - Estrutura dos preços de eletricidade fixados para 2013* - [on-line Julho 2013] Disponível em www.erse.pt

ERSE - Entidade reguladora dos Serviços Energéticos - *Tarifas e preços de gás natural para o ano gás 2011-2012* - Junho 2011-[on-line Julho 2013] Disponível em www.erse.pt

ERSE - Entidade reguladora dos Serviços Energéticos - *Estrutura tarifária no ano gás 2011-2012* - Junho 2011-[on-line Julho 2013] Disponível em www.erse.pt

ERSE - Entidade reguladora dos Serviços Energéticos - *Tarifas e preços para a energia elétrica e outros serviços em 2013*, Dezembro 2012 - [on-line Julho 2013] Disponível em www.erse.pt

EUROPEAN COMMISSION - *EU energy trends to 2030 — UPDATE 2009* - [on-line Janeiro 2013] Disponível em http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/index_en.htm

FERREIRA, Joaquim; PINHEIRO, Manuel – *In search of better energy performance in the Portuguese buildings—The case of the Portuguese regulation*, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa [em Junho 2012]

FIBRAN- [on-line em Dezembro 2012] Disponível em www.fibran.com.pt

GANHÃO, A - *Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação* - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Dezembro, 2011

GYPTec – [on-line Julho 2013] Disponível em www.gypotec.eu

INE – *As dinâmicas territoriais da requalificação do edificado, da empregabilidade e da inovação - Retrato Territorial de Portugal – 2007*, DESTAQUE 2009 [on-line em Junho 2012]. Disponível em www.ine.pt

INE – *Censos 2011 - Resultados definitivos - Portugal*, [on-line em Junho 2013]. Disponível em www.ine.pt

INE – *Censos - Resultados provisórios*, 2011 [on-line em Junho 2012]. Disponível em www.ine.pt

INE, I.P./DGEG - *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico* – INE, I.P , Lisboa, 2011

ISOLANI, Pieraldo - *Manual do Consumidor – Eficiência energética nos edifícios residenciais* -, DECO,Lisboa, Maio, 2008

JARDIM, Fátima Maria Gomes – *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção, Universidade do Minho, Guimarães, Dezembro 2009

JOUE (Jornal Oficial da União Europeia) - *Orientações que acompanham o Regulamento Delegado (ue) n. o 244/2012 da Comissão, de 16 de janeiro de 2012 – Informações IV-* Abril, 2012

KURNITSKI J., ALLARD F., BRAHAM D., GOEDERS G., HEISELBERG P., JAGEMAR L., KOSONEN R., LEBRUN J., MAZZARELLA L., RAILIO J., SEPPANEN O., SCHMIDT M., VIRTÁ M. – *How to define nearly net zero energy buildings nZEB–REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast*, The REHVA European HVAC Journal 48 (May (3)) (2011) 6–12 [on-line em Junho 2012]. Disponível em: www.rehva.eu

KURNITSKI J, SAARIB A, KALAMEESC T, VUOLLED M, NIEMELAD J, TARKE T - *Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation*. ENERGY AND BUILDINGS JOURNAL 43 (2011) 3279–3288. Disponível em: www.elsevier.com/locate/enbuild [on line em Junho 2012]

LAREIRAS CARVALHO – [on-line em Fevereiro 2013] Disponível em www.lareirascarvalho.pt

LNEG - [on-line em Dezembro 2012] Disponível em www.lneg.pt

LUZIO, João Miguel Gonçalves – *Certificação Térmica de Edifícios Existentes - Estudo Técnico-Económico da Reabilitação Energética de Coberturas*, FEUP, Fevereiro 2009

MASTERBLOCK - [on-line em Dezembro 2012] Disponível em www.masterblock.pt

MARQUES, Jorge – *Reabilitação de Edifícios - Soluções Térmicas e Controlo de Custos*, Seminário APCMC, ADENE, Lisboa, Março 2008 [on-line em Março 2012]. Disponível em: www.apcmc.pt

MARTINS, Ana Maria Carvalho – *Reabilitação térmica e energética de vãos envidraçados-As actuais exigências regulamentares*, Dissertação em Reabilitação do Património Edificado, FEUP, Porto, Novembro 2009

MEGACLIMA– [on-line entre Dezembro 2012 a Março 2013] Disponível em www.megaclima.pt

MEI – Ministério da Economia e da Inovação – *Portugal Eficiência Energética 2015 - Versão Sumário*, Plano Nacional de Acção da Eficiência Energética, 2008 [on-line em Maio 2012]. Disponível em www.adene.pt

MEID – Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento, *Renewabel - A inspirar Portugal – Plano Novas energias 2020-2010* [on-line em Junho 2012]. Disponível em www.renewable.pt

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO, *Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012*, 2012

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO, *Proposta de revisão do RCCTE de 2012*, 2012

ONDULINE Portugal – [on-line Julho 2013] Disponível em <http://onduline.sd-france.net/pt/>

PARLAMENTO EUROPEU – *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (Recast)*, In Jornal Oficial da União Europeia [on-line em Abril 2012]. Disponível em www.dgeg.pt

PARLAMENTO EUROPEU – *Diretiva 2002/ 91/ CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético de edifícios*” In Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L1/ 65 de 04/ 01/ 2003 [on-line em Abril 2012]. Disponível em: www.dgeg.pt

PARLAMENTO EUROPEU, *Regulamento Delegado (UE) N. o 244/2012 da Comissão de 16 de Janeiro de 2012 que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho* Jornal Oficial da União Europeia [on-line em Junho 2012]. Disponível em: <http://ec.europa.eu>

PINTO, A. M. – *A Nova Regulamentação dos Edifícios e o Sistema de Certificação Energética*,

PNAEE - *Plano Nacional para Acção da Eficiencia Energética, Relatório de Execução*, Maio 2011 [on-line em Junho 2012] Disponível em: www.adene.pt

PORTO SRU – *Reabilitação de Edifícios do Centro Histórico do Porto – Guia de Termos de Referência para o Desempenho Energético – Ambiental*, Março 2010

RENEWABLE – [on-line em Junho 2012] Disponível em: www.renewable.pt

RENOVATE – [on-line em Junho 2012] Disponível em: www.renovate-europe.eu

RGEU, *Regulamento Geral da Edificações Urbanas* - [on-line em Junho 2013]. Disponível em www.oasrn.org

RODRIGUES, Ana Carlota Rocha Araújo - *Reabilitação energética dos edifícios: caracterização em termos energéticos dos edifícios existentes e elaboração de proposta de reabilitação numa perspetiva custo/benefício* - Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis, Universidade do Minho, Dezembro 2011.

SANTOS, Arlindo José Pinto dos - *Dimensionamento de uma caldeira com produção de água quente queimando peletes de biomassa-Potência térmica global de 40 kW* -Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Julho de 2009

SANTOS, Carlos A. Pina dos; MATIAS, Luís. – *Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da envolvente dos edifícios* - Edifícios ITE50, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006

SANTOS, Carlos Pina dos – *Reabilitação de edifícios para promoção do conforto e da eficiência energética*, Net Zero Energy Buildings Conference, LNEC, Junho 2012 [on-line em Junho 2012]. Disponível em: www.lneg.pt

SEPPÄNEN O., GOEDERS G. – *Benchmarking Regulations on Energy Efficiency of Buildings. Executive summary*. Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations – REHVA, May 5, 2010. Disponível em: www.sitra.fi [on-line em Junho 2012]

SIRGADO, J.- *Análise do impacte dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios* - Instituto Superior Técnico, Lisboa, Outubro 2010

SOLIUS - [on-line em Março 2013] Disponível em www.solius.pt

TEXSA - [on-line em Dezembro 2012] Disponível em www.texsa.com

UMBELINO MONTEIRO – [on-line Julho 2013] Disponível em www.umbelino.pt

VIERO - [on-line em Dezembro 2012] Disponível em www.viero.com.pt

VULCANO – [on-line entre Dezembro 2012 em Março 2013] Disponível em www.vulcano.pt

ANEXO 1 - Definições do Regulamento Delegado

- (1) Custo global: soma do valor atual dos custos iniciais de investimento, dos custos de exploração e dos custos de substituição (relativamente ao ano inicial), bem como dos custos de eliminação, se pertinente. Para o cálculo a nível macroeconómico, introduz-se uma categoria de custos adicional (custos decorrentes das emissões de gases com efeito de estufa);
- (2) Custos de investimento inicial: todos os custos suportados até ao momento em que o edifício ou componente de edifício é entregue ao cliente, pronto a usar. Incluem o projeto, a compra dos componentes do edifício, as ligações aos fornecedores, as instalações e as vistorias;
- (3) Custos de energia: custos anuais e despesas fixas e de ponta inerentes à energia, incluindo impostos nacionais;
- (4) Custos de exploração: todos os custos ligados à exploração do edifício, incluindo custos de seguros anuais, consumos e outros encargos fixos e impostos;
- (5) Custos de manutenção: custos anuais decorrentes de medidas de conservação e restauro da qualidade desejada do edifício ou componente de edifício. Incluem os custos anuais incorridos com inspeções, limpezas, ajustamentos, reparações e produtos consumíveis;
- (6) Custos de utilização: custos anuais de manutenção, custos de exploração e custos de energia;
- (7) Custos de eliminação: custos de demolição no final da vida útil de um edifício ou componente de edifício, que incluem a demolição, a remoção de componentes do edifício que não tenham chegado ao fim da sua vida útil, o transporte e a reciclagem;
- (11) Edifício de referência: edifício de referência, hipotético ou real, representativo da geometria típica e dos sistemas, do desempenho energético típico da envolvente e dos sistemas dos edifícios, da funcionalidade e da estrutura de custos características do Estado-Membro em causa e representativo das condições climáticas e da localização
- (12) Taxa de desconto: taxa específica para a comparação do valor do dinheiro, expresso em termos reais, em momentos diferentes;
- (13) Fator de desconto: fator multiplicativo utilizado para converter o fluxo de caixa num determinado momento no seu equivalente inicial. É derivado da taxa de desconto;
- (14) Ano de início: ano em que se baseia um cálculo e com início no qual é determinado o período de cálculo;
- (15) Período de cálculo: período utilizado para o cálculo, sendo geralmente expresso em anos;

(17) Evolução do preço: evolução temporal do preço da energia, dos produtos, dos sistemas dos edifícios, dos serviços, da mão-de-obra, da manutenção e de outros custos; pode ser diferente da taxa de inflação;

(19) Conjunto de medidas: conjunto de medidas de eficiência energética e/ou de medidas baseadas em fontes de energia renováveis aplicadas a um edifício de referência;

(20) Variante: Resultado global e descrição de uma série completa de medidas/conjuntos de medidas aplicadas a um edifício, que pode ser constituída por uma combinação de medidas respeitantes à envolvente do edifício, técnicas passivas, medidas respeitantes aos sistemas do edifício e/ou medidas baseadas em fontes de energia renováveis;

(22) Energia fornecida: energia, expressa por vetor de energia, fornecida ao sistema técnico do edifício através da fronteira deste, para as utilizações tidas em conta (aquecimento, arrefecimento, ventilação, água quente para consumo doméstico, iluminação e outros equipamentos) ou a produção de eletricidade;

(23) Energia para aquecimento e arrefecimento: calor a fornecer ou a extrair a um espaço condicionado, com o objetivo de manter as condições de temperatura pretendidas, num determinado período;

(26) Energia de fontes renováveis: energia de fontes renováveis não-fósseis, nomeadamente eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica e oceânica, hidroelétrica, de biomassa, de gases de aterros, de gases de estações de tratamento de águas residuais e de biogás.

ANEXO 2 – Dados Estatísticos (CENSOS 2011)

Quadro 77 - Alojamentos clássicos ocupados como residência habitual

· ALOJAMENTOS CLÁSSICOS OCUPADOS COMO RESIDÊNCIA HABITUAL, DIVISÕES, FAMÍLIAS CLÁSSICAS, PESSOAS RESIDENTES E INDICADORES DE OCUPAÇÃO

Zona Geográfica	Alojamentos clássicos	Divisões	Famílias clássicas	Pessoas residentes	Indicadores de Ocupação			
					Média de divisões por alojamento	Média de famílias por alojamento	Média de pessoas por alojamento	Média de pessoas por divisão
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Portugal	3 991 112	19 892 808	4 033 121	10 413 100	5,0	1,0	2,6	0,5
Continente	3 818 574	19 025 373	3 859 004	9 905 473	5,0	1,0	2,6	0,5
Norte	1 319 665	6 760 129	1 328 268	3 651 862	5,1	1,0	2,8	0,5
Centro	893 857	4 772 435	902 643	2 285 256	5,3	1,0	2,6	0,5
Lisboa	1 127 711	5 156 879	1 144 466	2 785 824	4,6	1,0	2,5	0,5
Alentejo	298 767	1 502 147	301 790	738 193	5,0	1,0	2,5	0,5
Algarve	178 574	833 783	181 837	444 338	4,7	1,0	2,5	0,5
Região Autónoma dos Açores	80 425	436 070	81 453	243 270	5,4	1,0	3,0	0,6
Região Autónoma da Madeira	92 113	431 365	92 664	264 357	4,7	1,0	2,9	0,6

www.ine.pt. | Censos 2011. Resultados definitivos : Portugal. Alojamentos

Quadro 78 - Edifício segundo época de construção e estado de conservação

EDIFÍCIOS, SEGUNDO A ÉPOCA DE CONSTRUÇÃO, POR ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Zona Geográfica	Época de construção										
Estado de conservação	Total	antes de 1919	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-1995	1996 - 2000	2001-2005	2006-2011
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Portugal	3 544 389	206 343	305 696	387 340	408 831	588 858	578 845	268 179	290 292	300 635	209 370
Sem necessidade de reparação	2 519 452	77 346	125 924	196 813	248 427	425 232	467 456	231 003	262 516	283 839	200 896
Com necessidade de reparação	965 782	106 616	162 017	181 111	156 093	160 883	110 091	36 791	27 459	16 540	8 181
Muito degradado	59 155	22 381	17 755	9 416	4 311	2 743	1 298	385	317	256	293
Continente	3 353 610	195 169	288 132	365 612	390 633	565 368	546 632	253 730	272 578	280 855	194 901
Sem necessidade de reparação	2 379 328	71 628	116 891	183 922	236 893	409 032	442 531	218 937	246 715	265 517	187 262
Com necessidade de reparação	917 553	101 799	154 205	172 685	149 705	153 769	102 913	34 440	25 571	15 100	7 366
Muito degradado	56 729	21 742	17 036	9 005	4 035	2 567	1 188	353	292	238	273
Norte	1 209 911	71 817	87 996	112 397	133 424	206 637	216 376	100 530	104 083	103 963	72 688
Sem necessidade de reparação	836 737	25 145	31 706	51 293	74 530	141 313	169 108	84 419	92 573	97 118	69 532
Com necessidade de reparação	353 416	39 352	50 702	57 875	57 174	64 305	46 782	15 978	11 412	6 761	3 075
Muito degradado	19 758	7 320	5 588	3 229	1 720	1 019	486	133	98	84	81
Centro	1 111 952	57 408	100 388	129 672	134 526	192 304	176 125	80 440	86 772	91 517	62 800
Sem necessidade de reparação	794 248	18 618	36 664	63 583	84 238	145 582	146 745	71 304	79 710	87 324	60 480
Com necessidade de reparação	298 357	31 378	57 214	63 018	49 237	46 059	29 053	9 034	7 002	4 130	2 232
Muito degradado	19 347	7 412	6 510	3 071	1 051	663	327	102	60	63	88
Lisboa	448 957	22 297	28 955	54 006	59 963	83 916	71 920	32 031	35 452	35 446	24 971
Sem necessidade de reparação	315 466	8 040	12 355	27 974	35 471	58 371	57 055	27 004	31 362	33 589	24 245
Com necessidade de reparação	126 866	11 983	15 086	24 844	23 858	24 981	14 662	4 964	3 998	1 814	676
Muito degradado	6 625	2 274	1 514	1 188	634	564	203	63	92	43	50
Alentejo	383 866	32 538	54 373	52 225	45 213	52 443	48 055	23 571	27 675	28 601	19 172
Sem necessidade de reparação	281 834	15 347	28 589	31 307	31 237	41 139	41 513	21 149	25 862	27 346	18 345
Com necessidade de reparação	94 096	13 770	23 262	19 799	13 556	11 107	6 423	2 391	1 784	1 220	784
Muito degradado	7 936	3 421	2 522	1 119	420	197	119	31	29	35	43
Algarve	198 924	11 109	16 420	17 312	17 507	30 068	34 156	17 158	18 596	21 328	15 270
Sem necessidade de reparação	151 043	4 478	7 577	9 765	11 417	22 627	28 110	15 061	17 208	20 140	14 660
Com necessidade de reparação	44 818	5 316	7 941	7 149	5 880	7 317	5 993	2 073	1 375	1 175	599
Muito degradado	3 063	1 315	902	398	210	124	53	24	13	13	11
Região Autónoma dos Açores	98 818	7 098	10 145	11 851	8 749	10 579	17 236	6 504	8 710	9 984	7 962
Sem necessidade de reparação	77 736	4 310	6 199	8 047	6 142	8 069	14 091	5 839	8 097	9 348	7 594
Com necessidade de reparação	20 213	2 529	3 698	3 657	2 510	2 456	3 113	656	602	630	362
Muito degradado	869	259	248	147	97	54	32	9	11	6	6
Região Autónoma da Madeira	91 961	4 076	7 419	9 877	9 449	12 911	14 977	7 945	9 004	9 796	6 507
Sem necessidade de reparação	62 388	1 408	2 834	4 844	5 392	8 131	10 834	6 227	7 704	8 974	6 040
Com necessidade de reparação	28 016	2 288	4 114	4 769	3 878	4 658	4 065	1 695	1 286	810	453
Muito degradado	1 557	380	471	264	179	122	78	23	14	12	14

www.ine.pt. | Censos 2011. Resultados definitivos : Portugal. Edifícios

ANEXO 3 – Portaria Técnica da Proposta de revisão do RCCTE de 2012 (Ministério da Economia e do Emprego)

Tabela I.01 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$].

U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]		Zona Climática											
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento				A partir de 1 de Janeiro de 2016				A partir de 1 de Janeiro de 2021			
		I1	I2	I3	RA	I1	I2	I3	RA	I1	I2	I3	RA
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,5	0,4	0,35	1,0	0,4	0,35	0,3	0,8	0,35	0,3	0,25	0,7
	Elementos opacos horizontais	0,4	0,35	0,3	0,55	0,35	0,3	0,25	0,45	0,3	0,25	0,2	0,4
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,0	0,8	0,7	1,6	0,8	0,7	0,6	1,5	0,7	0,6	0,5	1,4
	Elementos opacos horizontais	0,8	0,7	0,6	1,0	0,7	0,6	0,5	0,85	0,6	0,5	0,4	0,8
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,9	2,6	2,4	2,9	2,8	2,4	2,2	2,8	2,4	1,9	1,8	2,4
Elementos em contacto com o solo		0,50				0,50				0,50			

Tabela II.05 – Classificação do desempenho de unidades split, multi-split, VRF e compactas, com permuta ar-ar

Classe	Unidades com permuta ar-ar			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split, multi-split e VRF	Unidades compactas	Unidades split, multi-split e VRF	Unidades compactas
A	EER > 3,20	EER > 3,00	COP > 3,60	COP > 3,40
B	$3,20 \geq \text{EER} > 3,00$	$3,00 \geq \text{EER} > 2,80$	$3,60 \geq \text{COP} > 3,40$	$3,40 \geq \text{COP} > 3,20$
C	$3,00 \geq \text{EER} > 2,80$	$2,80 \geq \text{EER} > 2,60$	$3,40 \geq \text{COP} > 3,20$	$3,20 \geq \text{COP} > 3,00$
D	$2,80 \geq \text{EER} > 2,60$	$2,60 \geq \text{EER} > 2,40$	$3,20 \geq \text{COP} > 2,80$	$3,00 \geq \text{COP} > 2,60$
E	$2,60 \geq \text{EER} > 2,40$	$2,40 \geq \text{EER} > 2,20$	$2,80 \geq \text{COP} > 2,60$	$2,60 \geq \text{COP} > 2,40$
F	$2,40 \geq \text{EER} > 2,20$	$2,20 \geq \text{EER} > 2,00$	$2,60 \geq \text{COP} > 2,40$	$2,40 \geq \text{COP} > 2,20$
G	$\text{EER} \leq 2,20$	$\text{EER} \leq 2,00$	$\text{COP} \leq 2,40$	$\text{COP} \leq 2,20$

Tabela II.07 – Classificação do desempenho de unidades tipo *Rooftop*

Classe	Unidades com permuta ar-ar		Unidades com permuta ar-água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	EER > 3,00	COP > 3,40	EER > 4,40	COP > 4,70
B	$3,00 \geq \text{EER} > 2,80$	$3,40 \geq \text{COP} > 3,20$	$4,40 \geq \text{EER} > 4,10$	$4,70 \geq \text{COP} > 4,40$
C	$2,80 \geq \text{EER} > 2,60$	$3,20 \geq \text{COP} > 3,00$	$4,10 \geq \text{EER} > 3,80$	$4,40 \geq \text{COP} > 4,10$
D	$2,60 \geq \text{EER} > 2,40$	$3,00 \geq \text{COP} > 2,60$	$3,80 \geq \text{EER} > 3,50$	$4,10 \geq \text{COP} > 3,80$
E	$2,40 \geq \text{EER} > 2,20$	$2,60 \geq \text{COP} > 2,40$	$3,50 \geq \text{EER} > 3,20$	$3,80 \geq \text{COP} > 3,50$
F	$2,20 \geq \text{EER} > 2,00$	$2,40 \geq \text{COP} > 2,20$	$3,20 \geq \text{EER} > 2,90$	$3,50 \geq \text{COP} > 3,20$
G	$\text{EER} \leq 2,00$	$\text{COP} \leq 2,20$	$\text{EER} \leq 2,90$	$\text{EER} \leq 3,20$

Tabela II.08 – Classificação do desempenho de unidades do tipo *chiller* de compressão

Classe	Unidades com permuta ar-água		Unidades com permuta água-água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$\text{EER} \geq 3,1$	$\text{COP} \geq 3,2$	$\text{EER} \geq 5,05$	$\text{COP} \geq 4,45$
B	$3,1 > \text{EER} \geq 2,9$	$3,2 > \text{COP} \geq 3,0$	$5,05 > \text{EER} \geq 4,65$	$4,45 > \text{COP} \geq 4,15$
C	$2,9 > \text{EER} \geq 2,7$	$3,0 > \text{COP} \geq 2,8$	$4,65 > \text{EER} \geq 4,25$	$4,15 > \text{COP} \geq 3,85$
D	$2,7 > \text{EER} \geq 2,5$	$2,8 > \text{COP} \geq 2,6$	$4,25 > \text{EER} \geq 3,85$	$3,85 > \text{COP} \geq 3,55$
E	$2,5 > \text{EER} \geq 2,3$	$2,6 > \text{COP} \geq 2,4$	$3,85 > \text{EER} \geq 3,45$	$3,55 > \text{COP} \geq 3,25$
F	$2,3 > \text{EER} \geq 2,1$	$2,4 > \text{COP} \geq 2,2$	$3,45 > \text{EER} \geq 3,05$	$3,25 > \text{COP} \geq 2,95$
G	$\text{EER} < 2,1$	$\text{COP} < 2,2$	$\text{EER} < 3,05$	$\text{COP} < 2,95$

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Tabela II.10 – Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores

Caldeiras	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal (η)
	A++ (1)	$\eta \geq 96\%$
	A+ (2)	$96\% \geq \eta > 92\%$
	A	$92\% \geq \eta > 89\%$
	B	$89\% \geq \eta > 86\%$
	C	$86\% \geq \eta > 83\%$
	D	$83\% \geq \eta > 80\%$
	E	$80\% \geq \eta > 77\%$
	F	$\eta \leq 77\%$
Esquentadores	Potência (kW)	Rendimento
	$\leq 10\text{kW}$	$\geq 0,82$
	$> 10\text{ kW}$	$\geq 0,84$

Tabela I.03 – Soluções de referência de sistemas a considerar na determinação do N_e

Tipo de sistema	Soluções de referência
Sistemas para aquecimento ambiente	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - O valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela II.09 a caldeiras, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) que recorram a equipamentos de queima de combustível. - O valor de eficiência da(s) correspondente(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela II.04, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) de ar condicionado. - Um valor de eficiência igual a 1, no caso de o edifício prever ou dispor de outros sistemas com recurso a eletricidade.
Sistemas para arrefecimento ambiente	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - O valor de eficiência da(s) correspondente(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela II.04, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) de ar condicionado. - Um sistema de ar condicionado do tipo split ou multisplit, com permuta ar-ar e com um valor de eficiência igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela II.04 e no caso de outros sistemas que não se enquadrem na situação anterior.
Preparação de AQS	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - O valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe indicada na Tabela II.09, referente a caldeiras, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) que recorram a equipamentos de queima de combustível. - Um valor de coeficiente de desempenho (COP) igual a 2,8, no caso de o edifício prever ou dispor de sistemas com produção térmica por
	<p>bomba(s) de calor.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Um valor de eficiência igual a 0,95, no caso de o edifício prever ou dispor de outros sistemas com recurso a eletricidade. - Existência de isolamento aplicado na tubagem de distribuição de AQS.

ANEXO 4 – Características dos equipamentos em análise

Bomba de Calor

Unidade autónoma ar-ar compacta de cobertura (rooftop).

Equipamento autónomo bomba de calor reversível ar-ar compacto de cobertura (rooftop), modelo Space IPF-90 "CIAT", de 2400x1400x1497 mm, potência frigorífica total nominal 21,9 kW (temperatura de bulbo seco no interior 27 °C, temperatura de bulbo seco no exterior 35 °C), potência frigorífica sensível nominal 15,9 kW (temperatura de bulbo húmido no interior 19 °C, temperatura de bulbo seco no exterior 35 °C), potência calorífica nominal 22,3 kW (temperatura de bulbo seco no interior 20 °C, temperatura de bulbo húmido no exterior 6 °C), EER (qualificação energética nominal) 2,9, COP (coeficiente energético nominal) 3,5, potência sonora 75 dBA, montagem MS00 (tomada de ar exterior com comporta motorizada e comporta de retorno motorizada).
--

NOTA: Consultar Tabela de Combinações para MXZ

UNIDADES INTERIORES - Para modelo exterior MXZ VA													
Unidades Interiores		Unidades Exterias											
Modelo		MXZ-8F15VA	MXZ-8F20VA	MXZ-8F25VA	MXZ-8F30VA	MXZ-8F35VA	MXZ-8F40VA	MXZ-8F45VA	MXZ-8F50VA	MXZ-8F55VA	MXZ-8F60VA	MXZ-8F65VA	MXZ-8F70VA
Capacidade Arrefecimento	MW (BTU/h)	1.5 (5.100)	2.0 (6.800)	2.5 (8.500)	3.0 (10.200)	3.5 (11.900)	4.0 (13.600)	4.5 (15.300)	5.0 (17.000)	5.5 (18.700)	6.0 (20.400)	6.5 (22.100)	7.1 (24.200)
Capacidade Aquecimento	MW (BTU/h)	1.7 (5.790)	2.2 (7.480)	2.7 (9.170)	3.2 (10.860)	3.7 (12.550)	4.2 (14.240)	4.7 (15.930)	5.2 (17.620)	5.7 (19.310)	6.2 (21.000)	6.7 (22.690)	7.1 (24.380)
Módulo de Fluido (R410A/R32)	litros	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45
Capacidade de Ar	m³/h	210-380	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410
Interior	Dimensões	200x200x200											
	Peso	12											
	Rq	12											
Tubagem	Líquido	Diâmetro mm	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")
	Gás	Diâmetro mm	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")

UNIDADES INTERIORES - Para modelo exterior MXZ VA													
Unidades Interiores		Unidades Exterias											
Modelo		MXZ-8F15VA	MXZ-8F20VA	MXZ-8F25VA	MXZ-8F30VA	MXZ-8F35VA	MXZ-8F40VA	MXZ-8F45VA	MXZ-8F50VA	MXZ-8F55VA	MXZ-8F60VA	MXZ-8F65VA	MXZ-8F70VA
Capacidade Arrefecimento	MW (BTU/h)	1.5 (5.100)	2.0 (6.800)	2.5 (8.500)	3.0 (10.200)	3.5 (11.900)	4.0 (13.600)	4.5 (15.300)	5.0 (17.000)	5.5 (18.700)	6.0 (20.400)	6.5 (22.100)	7.1 (24.200)
Capacidade Aquecimento	MW (BTU/h)	1.7 (5.790)	2.2 (7.480)	2.7 (9.170)	3.2 (10.860)	3.7 (12.550)	4.2 (14.240)	4.7 (15.930)	5.2 (17.620)	5.7 (19.310)	6.2 (21.000)	6.7 (22.690)	7.1 (24.380)
Módulo de Fluido (R410A/R32)	litros	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45
Capacidade de Ar	m³/h	210-380	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410
Interior	Dimensões	200x200x200											
	Peso	12											
	Rq	12											
Tubagem	Líquido	Diâmetro mm	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")
	Gás	Diâmetro mm	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")

Nota: O modelo S12-6A VA tem controlo remoto por cabo, o modelo S12-6A VAL tem controlo por Infravermelho sem fios.

UNIDADES INTERIORES - Para modelo exterior MXZ VA													
Unidades Interiores		Unidades Exterias											
Modelo		MXZ-8F15VA	MXZ-8F20VA	MXZ-8F25VA	MXZ-8F30VA	MXZ-8F35VA	MXZ-8F40VA	MXZ-8F45VA	MXZ-8F50VA	MXZ-8F55VA	MXZ-8F60VA	MXZ-8F65VA	MXZ-8F70VA
Capacidade Arrefecimento	MW (BTU/h)	1.5 (5.100)	2.0 (6.800)	2.5 (8.500)	3.0 (10.200)	3.5 (11.900)	4.0 (13.600)	4.5 (15.300)	5.0 (17.000)	5.5 (18.700)	6.0 (20.400)	6.5 (22.100)	7.1 (24.200)
Capacidade Aquecimento	MW (BTU/h)	1.7 (5.790)	2.2 (7.480)	2.7 (9.170)	3.2 (10.860)	3.7 (12.550)	4.2 (14.240)	4.7 (15.930)	5.2 (17.620)	5.7 (19.310)	6.2 (21.000)	6.7 (22.690)	7.1 (24.380)
Módulo de Fluido (R410A/R32)	litros	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45
Capacidade de Ar	m³/h	210-380	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410
Interior	Dimensões	200x200x200											
	Peso	12											
	Rq	12											
Tubagem	Líquido	Diâmetro mm	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")
	Gás	Diâmetro mm	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")

Nota: O modelo S12-6D VA tem controlo remoto por cabo, o modelo S12-6D VAL tem controlo por Infravermelho sem fios.

UNIDADES INTERIORES MR.SLIM - Para modelo exterior MXZ VA													
Unidades Interiores		Unidades Exterias											
Modelo		MXZ-8F15VA	MXZ-8F20VA	MXZ-8F25VA	MXZ-8F30VA	MXZ-8F35VA	MXZ-8F40VA	MXZ-8F45VA	MXZ-8F50VA	MXZ-8F55VA	MXZ-8F60VA	MXZ-8F65VA	MXZ-8F70VA
Capacidade Arrefecimento	MW (BTU/h)	1.5 (5.100)	2.0 (6.800)	2.5 (8.500)	3.0 (10.200)	3.5 (11.900)	4.0 (13.600)	4.5 (15.300)	5.0 (17.000)	5.5 (18.700)	6.0 (20.400)	6.5 (22.100)	7.1 (24.200)
Capacidade Aquecimento	MW (BTU/h)	1.7 (5.790)	2.2 (7.480)	2.7 (9.170)	3.2 (10.860)	3.7 (12.550)	4.2 (14.240)	4.7 (15.930)	5.2 (17.620)	5.7 (19.310)	6.2 (21.000)	6.7 (22.690)	7.1 (24.380)
Módulo de Fluido (R410A/R32)	litros	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45	21.35-35.35-45
Capacidade de Ar	m³/h	210-380	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410	210-410
Interior	Dimensões	200x200x200											
	Peso	12											
	Rq	12											
Tubagem	Líquido	Diâmetro mm	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")
	Gás	Diâmetro mm	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")	6.35 (1/4")

**só para MXZ-8F40VA

**só disponível para MXZ-8F40VA

Compatibilidade das Unidades Exteriores
É possível ligar uma única unidade exterior a 2/3/4/5/6/7 ou 8 unidades interiores, proporcionando ar condicionado a múltiplas divisões.



2X1
MXZ-8F30 VA
MXZ-8F30 VA



3X1
MXZ-8F40 VA
MXZ-8F40 VA



4X1
MXZ-8F50 VA
MXZ-8F50 VA



8X1
MXZ-8F40 VA



Caldeira Mural



CALDEIRAS MURAI

Gama Lifestar

- Versões de 28-30 kW ou de 24 kW de potência útil nas águas quentes sanitárias (A.Q.S.) e de 24 kW de potência útil no aquecimento
- Dimensões reduzidas e maior robustez
- Compatibilidade solar
- Display digital LCD com indicação de temperatura de A.Q.S., códigos de anomalia e diagnóstico
- Função de pré-aviso
- Modulação linear da chama
- Ajuste de potência independente para o aquecimento e águas sanitárias
- Gestão electrónica do funcionamento
- Sistema de controlo do arranque tornando-o mais estável e silencioso
- Fácil ligação de termóstatos, incluindo versão sem fios
- Ligações horizontais
- Versões de exaustão natural, estanque e ventilada
- Disponível em gás butano/propano e gás natural
- Rendimento de 89% (24 kW e exaustão natural); 92% (24 kW e exaustão estanque e ventilada; 24/28 kW e exaustão natural); 91% (24/30 kW e exaustão natural, estanque e ventilada)
- Dimensões:
A 700 x L 400 x P 298 mm

www.vulcano.pt

 **Vulcano**
SOLUÇÕES DE ÁGUA QUENTE

Resistência Elétrica

Aquecedor de halogéneo, de 1800 W de potência eléctrica.

Descrição

Aquecedor de halogéneo, de 1800 W de potência eléctrica, monofásico para 230 V de tensão, construído em alumínio e aço inoxidável, equipado com uma lâmpada halógena de quartzo, ecrã multi-reflexão orientável e acendimento por puxador de corrente, de 820x820x195 mm, segundo EN 442-1.

Esquentador a gás natural



ESQUENTADORES DE EXAUSTÃO NATURAL

Gama Click WRDB

- Acendimento electrónico por baterias
- Liga e desliga na torneira (inteligente)
- Display digital LCD, com informação da temperatura de água quente e diagnóstico com 8 códigos de anomalia
- Selector do caudal de gás
- Regulação do caudal de água
- Modulação automática da chama (gás)
- LED indicador de funcionamento
- LED indicador de falta de bateria
- Botão ON/OFF
- Limitador de temperatura de segurança
- Disponível em gás butano/propano e gás natural
- Rendimento de 88% (11 e 18 l) e 87% (14 l)
- Capacidades de 11, 14 e 18 l/min
- Dimensões:
 - 11 l: A 580 x L 310 x P 220 mm
 - 14 l: A 655 x L 350 x P 220 mm
 - 18 l: A 655 x L 425 x P 220 mm

www.vulcano.pt

 **Vulcano**
SOLUÇÕES DE ÁGUA QUENTE

Tabela de Rendimentos Esquentadores

ESQUENTADORES

MODELO	CAPACIDADE	EFICIÊNCIA TOTAL DA CARGA NOMINAL	EFICIÊNCIA A 30% DA CARGA NOMINAL
GAMA DE ESQUENTADORES COMPACTOS DE EXAUSTÃO NATURAL			
WRDG Click HDG	11 l/min	88,1%	80,0%
WRDG Click HDG	14 l/min	87,4%	78,0%
WRDG Click HDG	18 l/min	88,4%	78,0%
WRB Click!	11 l/min	88,1%	80,0%
WRDB Click!	11 l/min	88,1%	80,0%
WRDB Click!	14 l/min	87,4%	78,0%
WRDB Click!	18 l/min	88,4%	78,0%
WB Inteligente	11 l/min	88,1%	80,0%
WE Tic-Tic	11 l/min	88,1%	
GAMA DE ESQUENTADORES COMPACTOS DE EXAUSTÃO VENTILADA			
WRD-KME Click Ventilado	11 l/min	86,7%	75,0%
WRD-KME Click Ventilado	14 l/min	86,8%	75,0%
WRD-KME Click Ventilado	17 l/min	88,2%	75,0%
WTD-KME Sensor Ventilado	11 l/min	86,7%	75,0%
WTD-KME Sensor Ventilado	14 l/min	86,8%	75,0%
WTD-KME Sensor Ventilado	17 l/min	88,2%	75,0%
GAMA DE ESQUENTADORES ESTANQUES			
WTD Sensor Plus	11 l/min	86,7%	78,0%
WTD Sensor Plus	14 l/min	86,8%	78,0%
WTD Sensor Plus	17 l/min	88,2%	78,0%
WT Sensor	11 l/min	86,7%	78,0%
WT Sensor	14 l/min	86,8%	78,0%
WT Sensor	17 l/min	88,2%	78,0%
WTD Sensor Estanque	24 l/min	87,0%	95%
GAMA DE ESQUENTADORES DE CONDENSAÇÃO			
WTD Sensor Green	27 l/min	97%	101%
GAMA DE ESQUENTADORES TRADICIONAIS			
WE Tic-Tic	5 l/min	82,0%	
WB Inteligente	5 l/min	82,8%	79%
WRS 325	13 l/min	86,3%	78,0%
WRS 400	16 l/min	86,9%	78,0%

Termoacumulador a gás



TERMOACUMULADORES A GÁS

Gama S

- Acendimento do piloto por piezo
- Depósito em aço vitrificado
- Capacidades de 115, 155, 190 e 280 litros
- Potências de 5,9 kW a 14,9 kW
- Ligação para circuito de retorno
- Disponível em gás butano/propano e gás natural
- Dimensões:
 - 120 l: A 1227 x ø 500 mm
 - 160 l: A 1477 x ø 500 mm
 - 190 l: A 1727 x ø 500 mm
 - 290 l: A 1681 x ø 635 mm

www.vulcano.pt

 **Vulcano**
SOLUÇÕES DE ÁGUA QUENTE

Termoacumulador elétrico

Termoacumulador eléctrico para o serviço de A.Q.S., mural vertical, resistência blindada, capacidade 100 l, potência 2000 W, de 913 mm de altura e 450 mm de diâmetro, modelo Elacell Smart ES 100-1M "JUNKERS".

Descrição

Termoacumulador eléctrico para o serviço de A.Q.S., mural vertical, resistência blindada, capacidade 100 l, potência 2000 W, de 913 mm de altura e 450 mm de diâmetro, modelo Elacell Smart ES 100-1M "JUNKERS", formado por cuba de aço vitrificado, isolamento de espuma de poliuretano, ânodo de sacrifício de magnésio, lâmpada de controlo, termómetro e termostato de regulação para A.Q.S. acumulada.
--

Termoventilador

Aerotermo eléctrico mural, com caixa de chapa de aço pintada, de 370x450x80 mm, caudal de ar 350 m³/h, nível sonoro a 1,5 m 43 dBA, potência 3 kW, divisível em 2 etapas, com termóstato remoto de regulação.
--

Descrição

Aerotermo eléctrico mural, com caixa de chapa de aço pintada, de 370x450x80 mm, caudal de ar 350 m³/h, nível sonoro a 1,5 m 43 dBA, potência 3 kW, divisível em 2 etapas, ventilador helicoidal de alumínio com motor para alimentação monofásica a 230 V, resistência eléctrica espiral isolada com pó de quartzo, interruptor de comando, contactor, protector térmico incorporado e suportes para parede, com termóstato remoto de regulação.
--

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Caldeira (Biomassa)

NATURE ENERGY






TECHNICAL DATA:

TYPE ATMOS		D 14 P	D 21 P	D 25 P
POWER OUTPUT RANGE	kW	4 - 14	4 - 19,5	7 - 24
BOILER WEIGHT	kg	231	231	254
SPECIFIED STACK DRAUGHT	Pa	16	18	18
SPECIFIED FUEL	QUALITY WOOD PELLETS Ø 6 - 8 mm (WHITE PELLETS), LENGHT 10 - 25 mm			
VOLUME OF HOPPER	l	56	56	62
PELLET BURNER		ATMOS A25	ATMOS A25	ATMOS A25
PELLET SILO EXTERNAL	l	250, 500, 1000	250, 500, 1000	250, 500, 1000
BOILER MAX ASH-PAN CONTENT	l	41	41	41
EXTERNAL ASH-PAN CONTENT	l	28, 68	28, 68	28, 68
CONNECTING VOLTAGE	V/Hz	250/50	250/50	250/50
POWER DEMAND JOIN STARTUP	W	522	522	522
POWER DEMAND AT THE OPERATION	W	42	42	42
EFFICIENCY IN THE WHOLE RANGE OF POWER OUTPUT	%	> 90	> 90	> 90
CLASS OF BOILER EN 303-5		3	3	3

DIMENSIONS:

	D 14 P - D 21 P	D 25 P
A	1207	1207
B	768	868
C	620	620
D	801	801
E	152	152
G	215	215
H	934	934
CH	221	221
I	221	221
J	6/4"	6/4"




ATMOS

DISTRIBUTED BY:

MANUFACTURED BY:

JAROSLAV CANKAŘ A SYN ATMOS

Velenskáho 487

CZ 294 21 Bělá pod Bezdězem

Czech Republic

Phone: +420 / 326 / 701 404, 701 414

Fax: +420 / 326 / 701 492

Internet: www.atmos.cz, www.atmos.eu

e-mail: atmos@atmos.cz, atmos@atmos.eu



**lareiras
carvalho**

01/11 ENG

THE EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND AND THE MINISTRY OF INDUSTRY AND TRADE OF THE CZECH REPUBLIC SUPPORT INVESTMENT IN YOUR FUTURE.

ANEXO 5 – Relatórios energéticos (SOLTERM)

Caso de Estudo 1

SolTerm 5.0

Licenciado a Formadores do SCE
(Módulo RCCTE)

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico com depósito pressurizado

Painel

Modelo de colector: Norquente N2
Tipo: Plano
(3 módulos) 5,73 m²
Rendimento óptico: 73,10%
Coeficiente de perdas térmicas a1: 5,400 W/m²/K
Coeficiente de perdas térmicas a2: 0,004 W/m²/K²
Modificador de ângulo a 50°: 0,91

Caudal no grupo painel/permutador: 18,8 l/m² por hora (=0,03 l/s)

Permutador

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%
(factor de penalização: 82%)

Depósito

Modelo: 300 l típico
Volume: 300 l
Área externa: 2,88 m²
Material: PVC
Posição deitada
Deflectores interiores
Coeficiente de perdas térmicas: 3,00 W/°C

Cargas térmicas

Consumo de água nova, sem recuperação de calor.
Temperatura nominal: 60°C
Temperatura mínima aceite: °C
(Existem válvulas misturadoras.)

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Vila Nova de Gaia
Latitude 41,1°N (nominal)
Longitude 8,6°W (nominal)
TRY SNCE 2006
-
Inclinação do painel: 39°
Azimute do painel: 0°
Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kWh/m²	Rad.Inclin. kWh/m²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	52	86	,	172	423	251
Fevereiro	69	103	,	194	380	186
Março	105	128	,	227	413	186
Abril	144	155	,	265	393	128
Maio	173	167	,	281	396	115
Junho	185	169	,	275	371	97
Julho	205	192	,	318	375	58
Agosto	184	191	,	313	376	63
Setembro	129	151	,	268	369	101
Outubro	95	134	,	255	394	139
Novembro	62	102	,	200	399	199
Dezembro	49	86	,	172	422	250
Anual	1452	1664	,	2940	4711	1771

Fracção solar: 62,4%
Produtividade: 513 kWh/[m² colector]

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

SolTerm 5.0						
Licenciado a Formadores do SCE (Módulo RCCTE)						
Estimativa de desempenho de sistema solar térmico com depósito pressurizado						
Painel						
Modelo de colector: Norquente N2						
Tipo: Plano						
(5 módulos) 9,55 m ²						
Rendimento óptico: 73,10%						
Coeficiente de perdas térmicas a1: 5,400 W/m ² /K						
Coeficiente de perdas térmicas a2: 0,004 W/m ² /K ²						
Modificador de ângulo a 50°: 0,91						
Caudal no grupo painel/permutador: 52,1 l/m ² por hora (=0,14 l/s)						
Permutador						
Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55% (factor de penalização: 93%)						
Depósito						
Modelo: 300 l típico						
Volume: 300 l						
Área externa: 2,88 m ²						
Material: PVC						
Posição deitada						
Deflectores interiores						
Coeficiente de perdas térmicas: 3,00 W/°C						
Cargas térmicas						
Consumo de água nova, sem recuperação de calor.						
Temperatura nominal: 60°C						
Temperatura mínima aceite: °C						
(Existem válvulas misturadoras.)						
Localização, posição e envolvente do sistema						
Concelho de Vila Nova de Gaia						
Latitude 41,1°N (nominal)						
Longitude 8,6°W (nominal)						
TRY SNCE 2006						
-						
Inclinação do painel: 36°						
Azimute do painel: 0°						
Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)						
Balanço energético mensal e anual						
	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	52	85	,	226	423	197
Fevereiro	69	102	,	253	380	127
Março	105	128	,	291	413	123
Abril	144	156	7,	323	393	70
Maio	173	169	11,	340	396	56
Junho	185	172	11,	321	371	50
Julho	205	195	28,	361	375	14
Agosto	184	193	49,	345	376	32
Setembro	129	151	8,	322	369	47
Outubro	95	133	,	321	394	72
Novembro	62	100	,	263	399	136
Dezembro	49	84	,	228	422	194
Anual	1452	1668	114,	3592	4711	1119
Fracção solar: 76,2%						
Produtividade: 376 kWh/[m ² colector]						

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

```
-----
SolTerm 5.0
utilizado sob a licença ref.*

Licenciado a Formadores do SCE
(Módulo RCCTE)

Resultados de simulação de sistema solar fotovoltaico ligado à rede
-----
Painel
-----
8 módulos Siemens M75S organizados em 4 'strings' com 2 módulos em cada.
Área: 11,2 m²
Tensão em circuito aberto: 22, V
Corrente em curto-circuito: 4,8 A
Potência nominal: 0,6 kW
Tensão nominal: 34, V
Perdas de conexão: 5%
Perdas por sujidades: 2%
Perdas por degradação de desempenho (média durante a vida do sistema): 2%
-----

Inversor
-----
modelo 3000
Potência nominal 3000, W
-----

Climatologia
-----
Concelho de Vila Nova de Gaia
Latitude 41,1°N (nominal) - Longitude 8,6°W (nominal)
TRY SNCE 2006
-
Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)
-----

Balanco energético mensal e anual
-----
              E(rad)   E(PV)   E(sist)
              kWh     kWh     kWh
-----
Janeiro      917       42      41
Fevereiro   1106       50      49
Março        1396       62      61
Abril        1688       74      72
Maio         1821       79      77
Junho        1842       78      77
Julho        2091       88      86
Agosto      2083       87      85
Setembro    1651       70      69
Outubro     1451       63      62
Novembro    1081       48      47
Dezembro     915       42      41
-----
Anual      18043       783      767

Rendimento global: 4,3%
Produtividade: 1282,4 Wh/Wp
-----
E(rad): energia solar incidente no painel fotovoltaico
E(pv): energia eléctrica convertida pelo painel fotovoltaico
E(sist): energia eléctrica fornecida pelo sistema
```

q | Formadores do SCE | 26-01-2013 15:16:07 | 1/1

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

```
-----
SolTerm 5.0
utilizado sob a licença ref.*

Licenciado a Formadores do SCE
(Módulo RCCTE)

Resultados de simulação de sistema solar fotovoltaico ligado à rede
-----
Painel
-----
32 módulos Siemens M75S organizados em 16 'strings' com 2 módulos em cada.
Área: 44,8 m²
Tensão em circuito aberto: 22, V
Corrente em curto-circuito: 4,8 A
Potência nominal: 2,39 kW
Tensão nominal: 34, V
Perdas de conexão: 5%
Perdas por sujidades: 2%
Perdas por degradação de desempenho (média durante a vida do sistema): 2%
-----

Inversor
-----
modelo 3000
Potência nominal 3000, W
-----

Climatologia
-----
Concelho de Vila Nova de Gaia
Latitude 41,1°N (nominal) - Longitude 8,6°W (nominal)
TRY SNCE 2006
-
Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)
-----

Balanco energético mensal e anual
-----
```

	E(rad) kWh	E(PV) kWh	E(sist) kWh
Janeiro	3570	162	159
Fevereiro	4337	196	192
Março	5546	248	243
Abril	6779	297	291
Maio	7386	320	313
Junho	7507	319	313
Julho	8504	358	351
Agosto	8393	350	343
Setembro	6582	280	275
Outubro	5710	248	243
Novembro	4214	188	185
Dezembro	3550	161	158
Anual	72078	3128	3066

```
-----
Rendimento global: 4,3%
Produtividade: 1280,7 Wh/Wp
-----
E(rad): energia solar incidente no painel fotovoltaico
E(pv): energia eléctrica convertida pelo painel fotovoltaico
E(sist): energia eléctrica fornecida pelo sistema
-----
```

a | Formadores do SCE | 08-04-2013 20:38:27 | 1/1

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Caso de Estudo 2

SolTerm 5.0					
Licenciado a Formadores do SCE					
(Módulo RCCTE)					
Resultados de simulação de sistema solar fotovoltaico autónomo com apoio					

Painel					

2 módulos Siemens M75S					
Área: 2,8 m²					
Tensão em circuito aberto: 22, V					
Corrente em curto-circuito: 4,8 A					
Potência nominal: 0,15 kW					
Tensão nominal: 34, V					
Perdas de conexão: 5%					
Perdas por sujidades: 2%					
Perdas por degradação de desempenho (média durante a vida do sistema): 2%					

Inversor					

modelo 3000					
Potência nominal 3000, W					

Armazenamento					

24 baterias BP PowerBlock S300 organizadas em 12 grupos com 2 baterias em cada.					
Tensão nominal: 24, V					
Capacidade nominal (C100): 590, Ah					
Autonomia média no Inverno: 4,7 dias					

Gerador de apoio					

Potência: 500, W					

Climatologia					

Concelho de Porto					
Latitude 41,2°N (nominal)					
Longitude 8,6°W (nominal)					
TRY SNCE 2006					
-					
Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)					

Balanço energético mensal e anual					

	E(rad)	E(PV)	E(exc)	E(apoio)	Carga
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh

Janeiro	216	10	,	115	93
Fevereiro	268	12	,	101	84
Março	350	16	,	109	93
Abril	425	19	,	102	90
Maio	460	20	,	104	93
Junho	470	20	,	101	90
Julho	533	22	,	102	93
Agosto	520	22	,	103	93
Setembro	417	18	,	103	90
Outubro	352	15	,	110	93
Novembro	255	11	,	110	90
Dezembro	221	10	,	115	93

Anual	4486	194	,	1272	1095

Este sistema fotovoltaico é muito pouco útil.					
Rendimento global: 17,8% Produtividade: 5337 Wh/Wp					

E(rad): energia solar incidente no painel fotovoltaico					
E(pv): energia eléctrica convertida pelo painel fotovoltaico					
E(exc): energia eléctrica dissipada (de origem solar)					
E(apoio): energia eléctrica fornecida pelo gerador de apoio					
Carga: procura de energia eléctrica (consumos)					

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

SolTerm 5.0

Licenciado a Formadores do SCE
(Módulo RCCTE)

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico com depósito pressurizado

Painel

Modelo de colector: Norquente N2
Tipo: Plano
(1 módulo) 1,91 m²
Rendimento óptico: 73,10%
Coeficiente de perdas térmicas a1: 5,400 W/m²/K
Coeficiente de perdas térmicas a2: 0,004 W/m²/K²
Modificador de ângulo a 50°: 0,91

Caudal no grupo painel/permutador: 18,8 l/m² por hora (=0,01 l/s)

Permutador

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%
(factor de penalização: 82%)

Depósito

Modelo: 200 l típico
Volume: 200 l
Área externa: 2,21 m²
Material: PVC
Posição deitada
Deflectores interiores
Coeficiente de perdas térmicas: 2,23 W/°C

Cargas térmicas

Consumo de água nova, sem recuperação de calor.
Temperatura nominal: 45°C
Temperatura mínima aceite: °C
(Existem válvulas misturadoras.)

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Porto
Latitude 41,2°N (nominal)
Longitude 8,6°W (nominal)
TRY SNCE 2006
-
Inclinação do painel: 36°
Azimute do painel: 0°
Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kWh/m²	Rad.Inclin. kWh/m²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	51	82	,	51	97	46
Fevereiro	69	101	,	58	87	29
Março	105	129	,	69	94	25
Abril	143	156	,	77	88	11
Maio	170	168	,	77	88	11
Junho	180	173	,	75	81	6
Julho	200	196	,	79	81	2
Agosto	181	190	,	80	81	2
Setembro	129	153	,	73	80	7
Outubro	95	131	,	73	87	14
Novembro	60	97	,	56	90	34
Dezembro	49	84	,	52	97	44
Anual	1433	1659	,	820	1052	231

Fracção solar: 78,0%

Produtividade: 430 kWh/[m² colector]

ANEXO 6 - Plantas e Cortes dos Edifícios em análise

ANEXO 7 – Resultados dos Casos de Estudo

Quadro 79 - Apresentação de Nic, Nvc, Nac e Ntc - Vila Nova de Gaia (Caso Estudo 1)

VARIANTE	Descrição	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos Globais (30 anos)		Nic (kWh/m².ano)		Nvc (kWh/m².ano)		Nac (kWh/m².ano)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m².ano)				Renováveis			Cumpre?			
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social	Total	η	Total	η	Total	η	Nic	Nvc	Nac	Total	ST	FV	BIO	Nic/Nic ₂₅	Nvc/Nvc _{1,25}	Ntc/Ntc _{1,5}				
VAR00	Env EPS40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	61 825 €	51 290 €	114 982 €	93 058 €	176 807 €	144 348 €	135,52	0,9	5,15	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	407,89	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR01	Env EPS50+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	62 757 €	52 047 €	109 391 €	88 801 €	172 148 €	140 848 €	127,57	0,9	4,95	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	385,68	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR02	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	63 739 €	52 846 €	105 112 €	85 549 €	168 851 €	138 395 €	121,44	0,9	4,86	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	368,59	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR03	Env EPS40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	60 037 €	49 836 €	111 177 €	89 972 €	171 214 €	139 808 €	131,06	0,9	5,16	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	395,50	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR04	Env EPS50+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	60 969 €	50 593 €	105 669 €	85 778 €	166 638 €	136 372 €	123,22	0,9	4,99	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	373,62	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR05	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	61 951 €	51 392 €	101 456 €	82 576 €	163 407 €	133 968 €	117,19	0,9	4,87	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	356,79	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR06	Env EPS40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	62 240 €	51 750 €	53 388 €	61 205 €	115 628 €	112 954 €	131,06	0,92	5,16	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	172,49	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR07	Env EPS50+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	63 171 €	52 507 €	51 429 €	58 823 €	114 600 €	111 330 €	123,22	0,92	4,99	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	163,86	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR08	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	64 134 €	53 306 €	49 944 €	57 014 €	114 098 €	110 320 €	117,19	0,92	4,87	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	157,24	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR09	Env EPS40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 134 €	53 395 €	39 677 €	33 116 €	103 811 €	86 512 €	131,06	3,5	5,16	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	115,69	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR10	Env EPS50+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 065 €	54 153 €	38 262 €	32 048 €	103 327 €	86 200 €	123,22	3,5	4,99	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	109,94	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR11	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	66 048 €	54 951 €	37 197 €	31 249 €	103 245 €	86 201 €	117,19	3,5	4,87	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	105,53	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR12	Env EPS50+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 447 €	53 650 €	38 785 €	32 442 €	103 232 €	86 091 €	126,22	3,5	4,98	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	112,08	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR13	Env EPS40+Cob XPS50+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 376 €	53 592 €	39 284 €	32 818 €	103 659 €	86 410 €	128,85	3,5	5,16	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	114,11	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR14	Env EPS40+Cob XPS40+PT XPS50+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 511 €	53 702 €	39 547 €	33 020 €	104 058 €	86 721 €	130,27	3,5	5,17	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	115,14	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR15	Env EPS40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	68 788 €	57 438 €	38 202 €	32 506 €	106 990 €	89 945 €	131,06	3,5	5,16	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	102,42	0,00	5,31	0,00				OK	OK		
VAR16	Env EPS50+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	69 719 €	58 196 €	36 787 €	31 438 €	106 506 €	89 633 €	123,22	3,5	4,99	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	96,67	0,00	5,31	0,00				OK	OK		
VAR17	Env EPS60+Cob XPS 60+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	70 702 €	58 994 €	35 722 €	30 639 €	106 424 €	89 634 €	117,19	3,5	4,87	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	92,26	0,00	5,31	0,00				OK	OK		
VAR18	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874+RenST5,7	66 205 €	54 988 €	102 199 €	81 675 €	168 404 €	136 663 €	121,44	0,9	4,86	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	345,31	20,35	0,00	0,00				OK			
VAR19	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874+RenST5,7	64 417 €	53 534 €	98 543 €	78 702 €	162 960 €	132 236 €	117,19	0,9	4,87	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	333,52	20,35	0,00	0,00				OK			
VAR20	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02+RenST5,7m2	66 620 €	55 448 €	47 031 €	53 140 €	113 651 €	108 588 €	117,19	0,92	4,87	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	135,12	20,35	0,00	0,00				OK	OK		
VAR21	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874+RenST5,7+RenFV11,2	70 859 €	59 031 €	100 724 €	81 065 €	171 583 €	140 096 €	121,44	0,9	4,86	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	332,04	20,35	5,31	0,00				OK			
VAR22	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874+RenST5,7+RenFV11,2	69 071 €	57 577 €	97 068 €	78 092 €	166 139 €	135 670 €	117,19	0,9	4,87	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	320,25	20,35	5,31	0,00				OK			
VAR23	Env EPS60+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02+RenST5,7m2+RenFV11,2	71 274 €	59 491 €	45 556 €	52 531 €	116 830 €	112 022 €	117,19	0,92	4,87	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	121,85	20,35	5,31	0,00				OK	OK		
VAR24	Env EPS80+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	65 614 €	54 370 €	99 859 €	81 561 €	165 472 €	135 931 €	113,90	0,9	4,68	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	347,54	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR25	Env EPS80+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	63 826 €	52 916 €	96 143 €	78 543 €	159 969 €	131 460 €	109,56	0,9	4,72	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	335,51	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR26	Env EPS80+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	66 029 €	54 830 €	48 085 €	54 745 €	114 114 €	109 575 €	109,56	0,92	4,72	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	148,85	0,00	0,00	0,00				OK	OK	OK	
VAR27	Env EPS80+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	67 923 €	56 476 €	35 869 €	30 259 €	103 792 €	86 734 €	109,56	3,5	4,72	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	99,95	0,00	0,00	0,00				OK	OK	OK	
VAR28	Env EPS80+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02+RenST5,7	68 494 €	56 972 €	45 172 €	50 872 €	113 667 €	107 844 €	109,56	0,92	4,72	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	126,73	20,35	0,00	0,00				OK	OK	OK	
VAR29	Env PIR 50+Cob XPS40 PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	66 541 €	55 352 €	37 266 €	31 326 €	103 808 €	86 679 €	117,35	3,5	4,65	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	105,46	0,00	0,00	0,00				OK	OK	OK	
VAR30	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	63 506 €	52 656 €	107 860 €	87 655 €	171 365 €	140 312 €	125,32	0,9	4,74	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	379,30	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR31	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	61 718 €	51 202 €	104 145 €	84 638 €	165 862 €	135 840 €	120,98	0,9	4,78	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	367,27	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR32	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	63 921 €	53 116 €	50 918 €	58 200 €	114 838 €	111 316 €	120,98	0,92	4,78	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	161,30	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR33	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 815 €	54 762 €	37 897 €	31 792 €	103 711 €	86 554 €	120,98	3,5	4,78	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	108,16	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR34	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02+RenST5,7	66 386 €	55 258 €	48 005 €	54 326 €	114 391 €	109 584 €	120,98	0,92	4,78	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	139,18	20,35	0,00	0,00				OK	OK		
VAR35	Env EPS60+Cob PIR40+PT PIR40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 243 €	54 297 €	37 091 €	31 162 €	102 334 €	85 458 €	116,75	3,5	4,86	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	105,21	0,00	0,00	0,00				OK	OK	OK	
VAR36	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	65 417 €	54 210 €	99 539 €	81 328 €	164 957 €	135 538 €	113,40	0,9	4,65	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	346,13	0,00	0,00	0,00				OK	OK		
VAR37	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	63 629 €	52 757 €	95 817 €	78 304 €	159 446 €	131 061 €	109,05</																			

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VARIANTE	Descrição	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos Globais (30 anos)		Nic (kWh/m².ano)		Nvc (kWh/m².ano)		Nac (kWh/m².ano)			Fatores de conversão			Ntc (kWh/m².ano)				Renováveis				Cumpre?		
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social	Total	η	Total	η	Total	η	Nic	Nvc	Nac	Total	ST	FV	BIO	Nic/Nic ₂₅	Nvc/Nvc _{1,25}	Ntc/Ntc _{1,5}					
VAR60	Env. EPS120+Cob. XPS80+PT. XPS80+Vidr. U2,3+Cal. G0,92+AC. E4,02	67 317 €	55 878 €	46 920 €	53 338 €	114 237 €	109 216 €	104,80	0,92	4,31	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	143,42	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR61	Env. EPS100+Cob. PIR60+PT. XPS50+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Esq. G0,874	67 836 €	56 414 €	32 784 €	30 070 €	100 620 €	86 484 €	107,58	4,79	4,37	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	87,10	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR62	Env. EPS60+Cob. XPS140+PT. XPS60+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Esq. G0,874	68 155 €	56 674 €	33 269 €	30 427 €	101 424 €	87 101 €	111,25	4,79	4,67	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	89,21	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR63	Env. EPS100+Cob. XPS140+PT. XPS80+Vidr. U2,3+Cal. G0,92+AC. E4,02	68 101 €	56 515 €	46 535 €	52 849 €	114 636 €	109 364 €	103,11	0,92	4,61	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	141,77	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR64	Env. EPS60+Cob. PIR40+PT. PIR40+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Esq. G0,874	65 407 €	54 440 €	33 266 €	30 402 €	98 674 €	84 842 €	111,60	4,79	4,89	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	89,53	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR65	Env. PIR50+Cob. PIR50+PT. PIR50+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Esq. G0,874	67 944 €	56 502 €	33 057 €	30 286 €	101 001 €	86 788 €	109,05	4,79	4,69	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	88,07	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR66	Env. EPS100+Cob. XPS120+PT. XPS140+Vidr. U2,3+Cal. G0,92+AC. E4,02	70 108 €	58 147 €	46 426 €	52 719 €	116 534 €	110 866 €	102,56	0,92	4,41	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	143,05	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR67	Env. EPS120+Cob. XPS100+PT. XPS100+Vidr. U2,3+Res. E0,9+AC. E4,02+Esq. G0,874	66 426 €	55 031 €	91 026 €	74 674 €	157 452 €	129 705 €	102,14	0,9	4,54	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	314,78	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR68	Env. EPS80+Cob. XPS140+PT. XPS60+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Esq. G0,874	68 781 €	57 183 €	32 804 €	30 085 €	101 585 €	87 267 €	107,31	4,79	4,72	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	87,18	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR69	Env. EPS140+Cob. XPS120+PT. XPS100+Vidr. U2,3+Res. E0,9+AC. E4,02+Esq. G0,874	67 497 €	55 901 €	89 238 €	73 325 €	156 735 €	129 227 €	99,53	0,9	4,48	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	307,50	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR70	Env. EPS140+Cob. XPS140+PT. XPS100+Vidr. U2,3+Res. E0,9+AC. E4,02+Esq. G0,874	67 980 €	56 293 €	88 682 €	72 905 €	156 662 €	129 198 €	98,72	0,9	4,48	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	305,25	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR71	Env. EPS140+Cob. XPS140+PT. XPS120+Vidr. U2,3+Res. E0,9+AC. E4,02+Esq. G0,874	68 809 €	56 968 €	88 208 €	72 550 €	157 018 €	129 518 €	98,01	0,9	4,49	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	303,28	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR72	Env. EPS140+Cob. XPS140+PT. XPS140+Vidr. U2,3+Res. E0,9+AC. E4,02+Esq. G0,874	69 639 €	57 643 €	87 973 €	72 377 €	157 612 €	130 020 €	97,64	0,9	4,49	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	302,25	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR17A	Env. EPS60+Cob. XPS80+PT. XPS60+Vidr. U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	71 198 €	59 398 €	35 320 €	30 336 €	106 518 €	89 734 €	114,97	3,5	4,80	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	90,62	0,00	5,31	0,00	OK	OK	OK					
VAR17B	Env. XPS60+Cob. XPS80+PT. XPS60+Vidr. U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	72 006 €	60 055 €	35 169 €	30 238 €	107 175 €	90 293 €	113,76	3,5	4,83	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	89,78	0,00	5,31	0,00	OK	OK	OK					
VAR17C	Env. XPS60+Cob. XPS80+PT. XPS60+Vidr. U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2+ST5,7	74 698 €	62 197 €	32 682 €	28 746 €	107 380 €	90 942 €	114,76	3,5	4,83	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	75,96	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK					
VAR17D	Env. XPS100+Cob. XPS140+PT. XPS140+Vidr. U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2+ST5,7	81 178 €	67 465 €	30 324 €	27 022 €	111 502 €	94 487 €	100,47	3,5	4,60	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	65,56	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK					
VAR81	Env. XPS60+Cob. XPS140+PT. XPS60+Vidr. U2,3+AC. E4,7/4,02+ TermoAcm. G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	78 153 €	65 315 €	31 675 €	28 882 €	109 828 €	94 197 €	111,04	4,79	4,62	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	52,66	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK					
VAR82	Env. XPS100+Cob. XPS140+PT. XPS140+Vidr. U2,3+AC. E4,7/4,02+ TermoAcm. G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	83 187 €	69 407 €	30 272 €	28 057 €	113 459 €	97 463 €	100,47	4,79	4,60	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	47,13	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK					
VAR83	Env. XPS100+Cob. XPS140+PT. XPS140+Vidr. U2,3+AC. E4,7/4,02+ TermoAcm. G0,85+RenST5,7	78 533 €	65 364 €	31 984 €	28 666 €	110 516 €	94 030 €	100,47	4,79	4,60	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	60,40	20,35	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR84	Env. XPS140+Cob. XPS140+PT. XPS140+Vidr. U2,3+AC. E4,7/4,02+ TermoAcm. G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	85 800 €	71 532 €	30 237 €	27 904 €	116 038 €	99 436 €	97,32	4,79	4,25	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	45,27	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK					
VAR85	Env. PIR140+Cob. PIR140+PT. PIR140+Vidr. U2,3+AC. E4,7/4,02+ TermoAcm. G0,85+RenST9,6	80 107 €	66 718 €	30 730 €	27 533 €	110 838 €	94 251 €	91,52	4,79	4,14	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	50,47	24,57	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR86	Env. EPS60+Cob. XPS80+PT. XPS60+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Esq. G0,874	66 344 €	55 201 €	33 693 €	30 726 €	100 036 €	85 927 €	114,97	4,79	4,80	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	91,23	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR87	Env. PIR140+Cob. PIR 140+PT. PIR140+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Esq. G0,874 +RenFv44,8+ST 5,7	103 869 €	86 863 €	26 311 €	26 770 €	130 180 €	113 633 €	91,52	4,79	4,14	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	2,25	20,35	21,22	0,00	OK	OK	OK					
VAR88	Env. PIR40+Cob. XPS50+PT. XPS40+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Esq. G0,874	69 439 €	57 718 €	34 484 €	31 401 €	103 923 €	89 138 €	119,26	4,79	4,58	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	93,33	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK					
VAR89	Env. EPS60+Cob. XPS80+PT. XPS60+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Cal. B0,91	81 742 €	68 457 €	42 257 €	40 564 €	123 999 €	109 021 €	114,97	4,79	4,80	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	62,99	0,00	0,00	27,12	OK	OK	OK					
VAR90	Env. PIR140+Cob. PIR140+PT. PIR140+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Cal. B0,91	96 394 €	80 369 €	40 041 €	39 143 €	136 435 €	119 512 €	91,52	4,79	4,14	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	50,34	0,00	0,00	27,12	OK	OK	OK					
VAR91	Env. XPS60+Cob. XPS140+PT. XPS60+Vidr. U2,3+AC. E4,79/4,02+ Cal. B0,91	97 470 €	81 927 €	41 758 €	40 196 €	139 227 €	122 123 €	111,04	4,79	4,62	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	60,83	0,00	0,00	27,12	OK	OK	OK					

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Quadro 80 - Apresentação de Nic, Nvc, Nac e Ntc - Bragança (Caso Estudo 1)

VARIANTE	Descrição	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos Globais anos) (30		Ntc (kWh/m².ano)		Nvc (kWh/m².ano)		Nac (kWh/m².ano)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m².ano)				Renováveis				Cumpre?		
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social	Total	η	Total	η	Total	η	Nic	Nvc	Nac	Total	ST	FV	BIO	Nic/Nt	Nvc/Nvc	Ntc/Nt				
																								1,25	1,25	<1,5	
VAR00	Env EP540+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	61 825 €	51 290 €	181 043 €	143 635 €	242 868 €	194 925 €	229,34	0,9	6,03	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	669,04	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR01	Env EP550+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	62 757 €	52 047 €	172 057 €	136 786 €	234 814 €	188 833 €	216,58	0,9	5,79	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	633,45	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR02	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	63 739 €	52 846 €	164 979 €	131 396 €	228 719 €	184 242 €	206,48	0,9	5,69	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	605,33	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR03	Env EP540+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	60 037 €	49 836 €	175 435 €	139 172 €	235 472 €	189 008 €	222,32	0,9	6,04	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	649,55	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR04	Env EP550+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	60 969 €	50 593 €	166 533 €	132 387 €	227 502 €	182 980 €	209,67	0,9	5,84	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	614,29	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR05	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	61 951 €	51 392 €	159 562 €	127 078 €	221 513 €	178 471 €	199,73	0,9	5,70	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	586,59	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR06	Env EP540+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	62 240 €	51 750 €	76 342 €	89 311 €	138 581 €	141 060 €	222,32	0,92	6,04	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	272,23	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR07	Env EP550+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	63 171 €	52 507 €	73 165 €	85 449 €	136 337 €	137 956 €	209,67	0,92	5,84	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	258,36	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR08	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	64 154 €	53 306 €	70 693 €	82 439 €	134 847 €	135 745 €	199,73	0,92	5,70	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	247,47	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR09	Env EP540+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 134 €	53 395 €	56 403 €	45 887 €	120 537 €	99 283 €	222,32	3,5	6,04	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	181,64	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR10	Env EP550+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 065 €	54 153 €	54 110 €	44 148 €	119 175 €	98 301 €	209,67	3,5	5,84	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	172,43	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR11	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	66 048 €	54 951 €	52 333 €	42 806 €	118 381 €	97 757 €	199,73	3,5	5,70	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	165,21	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR12	Env EP550+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 447 €	53 650 €	54 984 €	44 810 €	119 431 €	98 460 €	214,62	3,5	5,82	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	175,95	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR13	Env EP540+Cob XPS50+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 376 €	53 592 €	55 802 €	45 430 €	120 178 €	99 022 €	218,95	3,5	6,05	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	179,24	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR14	Env EP540+Cob XPS40+PT XPS50+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 511 €	53 702 €	56 230 €	45 758 €	120 741 €	99 459 €	221,29	3,5	6,05	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	180,91	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR15	Env EP540+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	68 788 €	57 438 €	54 928 €	45 277 €	123 716 €	102 716 €	222,32	3,5	6,04	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	168,37	0,00	5,31	0,00				OK OK			
VAR16	Env EP550+Cob XPS50+PT XPS50+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	69 719 €	58 196 €	52 635 €	43 538 €	122 354 €	101 734 €	209,67	3,5	5,84	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	159,16	0,00	5,31	0,00				OK OK			
VAR17	Env EP560+Cob XPS 60+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	70 702 €	58 994 €	50 858 €	42 196 €	121 559 €	101 190 €	199,73	3,5	5,70	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	151,94	0,00	5,31	0,00				OK OK			
VAR18	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874+RenST5,7	66 205 €	54 988 €	162 066 €	127 523 €	228 271 €	182 511 €	206,48	0,9	5,69	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	582,05	20,35	0,00	0,00				OK			
VAR19	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874+RenST5,7	64 417 €	53 534 €	156 649 €	123 205 €	221 066 €	176 739 €	199,73	0,9	5,70	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	563,31	20,35	0,00	0,00				OK			
VAR20	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02+RenST5,7m2	66 620 €	55 448 €	67 780 €	78 565 €	134 399 €	134 013 €	199,73	0,92	5,70	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	225,35	20,35	0,00	0,00				OK OK			
VAR21	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874+RenST5,7+RenFV11,2	70 859 €	59 031 €	160 591 €	126 913 €	231 450 €	185 944 €	206,48	0,9	5,69	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	568,78	20,35	5,31	0,00				OK			
VAR22	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874+RenST5,7+RenFV11,2	69 071 €	57 577 €	155 174 €	122 595 €	224 244 €	180 172 €	199,73	0,9	5,70	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	550,04	20,35	5,31	0,00				OK			
VAR23	Env EP560+Cob XPS60+PT XPS60+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02+RenST5,7m2+RenFV11,2	71 274 €	59 491 €	66 305 €	77 955 €	137 578 €	137 446 €	199,73	0,92	5,70	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	212,08	20,35	5,31	0,00				OK OK			
VAR24	Env EP580+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	65 614 €	54 370 €	156 464 €	124 918 €	222 078 €	179 288 €	194,32	0,9	5,47	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	571,42	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR25	Env EP580+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	63 826 €	52 916 €	150 764 €	120 385 €	214 590 €	173 301 €	187,16	0,9	5,52	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	551,56	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR26	Env EP580+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	66 029 €	54 830 €	67 584 €	78 651 €	133 613 €	133 481 €	187,16	0,92	5,52	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	233,69	0,00	0,00	0,00				OK OK OK			
VAR27	Env EP580+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	67 923 €	56 476 €	50 103 €	41 127 €	118 026 €	97 603 €	187,16	3,5	5,52	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	156,07	0,00	0,00	0,00				OK OK OK			
VAR28	Env EP580+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02+RenST5,7	68 494 €	56 972 €	64 671 €	74 777 €	133 166 €	131 749 €	187,16	0,92	5,52	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	211,58	20,35	0,00	0,00				OK OK OK			
VAR29	Env PIR 50+Cob XPS40 PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	66 541 €	55 352 €	52 411 €	42 890 €	118 952 €	98 242 €	200	3,5	5,43	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	165,17	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR30	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	63 506 €	52 656 €	169 674 €	134 989 €	233 179 €	187 646 €	213,13	0,9	5,54	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	623,71	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR31	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	61 718 €	51 202 €	163 980 €	130 461 €	225 698 €	181 664 €	205,98	0,9	5,59	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	603,88	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR32	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	63 921 €	53 116 €	72 283 €	84 377 €	136 203 €	137 493 €	205,98	0,92	5,59	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	254,19	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR33	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 815 €	54 762 €	53 473 €	43 686 €	119 288 €	98 447 €	205,98	3,5	5,59	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	169,58	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR34	Env PIR40+Cob XPS40+PT XPS40+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02+RenST5,7	66 386 €	55 258 €	69 370 €	80 503 €	135 756 €	135 761 €	205,98	0,92	5,59	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	232,08	20,35	0,00	0,00				OK OK			
VAR35	Env EP560+Cob PIR40+PT PIR40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 243 €	54 297 €	52 178 €	42 681 €	117 420 €	96 978 €	199,02	3,5	5,69	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	164,69	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR36	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	65 417 €	54 210 €	155 911 €	124 506 €	221 328 €	178 716 €	193,49	0,9	5,43	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	569,09	0,00	0,00	0,00				OK			
VAR37	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	63 629 €	52 757 €	150 210 €	119 972 €	213 840 €	172 729 €	186,33	0,9	5,48	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	549,23	0,00	0,00	0,00				OK OK			
VAR38	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,3+Cald G0,92+AC E4,02	65 832 €	54 670 €	67 406 €	78 430 €	133 238 €	133 100 €	186,33	0,92																		

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VARIANTE	Descrição	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos Globais (30 anos)		Nic (kWh/m².ano)		Nvc (kWh/m².ano)		Nac (kWh/m².ano)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m².ano)				Renováveis				Cumpre?		
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social	Total	η	Total	η	Total	η	Nic	Nvc	Nac	Total	ST	FV	BIO	Nic/Ni <1,25	Nvc/Nvc <1,25	Ntc/Nt <1,5				
VAR60	Env EPS120+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	67 317 €	55 878 €	65 678 €	76 347 €	132 995 €	132 225 €	179,51	0,92	5,03	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	225,07	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR61	Env EPS100+Cob PIR80+PT XPS50+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esg G0,874	67 836 €	56 414 €	42 849 €	37 891 €	110 685 €	94 306 €	184,09	4,79	5,10	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	127,49	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR62	Env EPS80+Cob XPS140+PT XPS80+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esg G0,874	68 155 €	56 674 €	43 875 €	38 662 €	112 030 €	95 335 €	191,78	4,79	5,46	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	131,73	0,00	0,00	0,00		OK	OK				
VAR63	Env EPS100+Cob XPS140+PT XPS80+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	68 101 €	56 515 €	64 978 €	75 469 €	133 079 €	131 984 €	176,53	0,92	5,39	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	222,06	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR64	Env EPS80+Cob PIR40+PT PIR40+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esg G0,874	65 407 €	54 440 €	44 805 €	39 349 €	110 212 €	93 788 €	199,15	4,79	5,70	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	135,72	0,00	0,00	0,00		OK	OK				
VAR65	Env PIR60+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esg G0,874	67 944 €	56 502 €	43 233 €	38 192 €	111 177 €	94 695 €	186,33	4,79	5,48	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	128,90	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR66	Env EPS100+Cob XPS120+PT XPS140+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	70 108 €	58 147 €	64 819 €	75 282 €	134 927 €	133 429 €	175,81	0,92	5,15	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	221,13	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR67	Env EPS120+Cob XPS100+PT XPS100+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	66 426 €	55 031 €	142 251 €	113 923 €	208 678 €	168 954 €	174,93	0,9	5,30	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	517,45	0,00	0,00	0,00	OK	OK					
VAR68	Env EPS80+Cob XPS140+PT XPS80+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esg G0,874	68 781 €	57 183 €	42 831 €	37 875 €	111 612 €	95 060 €	183,46	4,79	5,52	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	127,42	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR69	Env EPS140+Cob XPS120+PT XPS100+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	67 497 €	55 901 €	139 264 €	111 658 €	206 761 €	167 560 €	170,62	0,9	5,23	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	505,43	0,00	0,00	0,00	OK	OK					
VAR70	Env EPS140+Cob XPS140+PT XPS100+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	67 980 €	56 293 €	138 342 €	110 958 €	206 321 €	167 252 €	169,29	0,9	5,23	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	501,74	0,00	0,00	0,00	OK	OK					
VAR71	Env EPS140+Cob XPS140+PT XPS120+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	68 809 €	56 968 €	137 544 €	110 356 €	206 353 €	167 324 €	168,12	0,9	5,24	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	498,50	0,00	0,00	0,00	OK	OK					
VAR72	Env EPS140+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esg G0,874	69 639 €	57 643 €	137 141 €	110 055 €	206 780 €	167 698 €	167,51	0,9	5,25	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	496,81	0,00	0,00	0,00	OK	OK					
VAR17A	Env EPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	71 198 €	59 398 €	50 213 €	41 708 €	121 411 €	101 106 €	196,09	3,5	5,70	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	149,34	0,00	5,31	0,00		OK	OK				
VAR17B	Env XPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	72 006 €	60 055 €	49 902 €	41 487 €	121 908 €	101 542 €	194,09	3,5	5,65	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	147,87	0,00	5,31	0,00		OK	OK				
VAR17C	Env XPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2+ST5,7	74 698 €	62 197 €	47 234 €	39 856 €	121 932 €	102 053 €	194,09	3,5	5,65	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	133,33	20,35	5,31	0,00		OK	OK				
VAR17D	Env XPS100+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2+ST5,7	81 178 €	67 465 €	43 483 €	37 069 €	124 660 €	104 533 €	172,17	3,5	5,37	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	117,43	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR81	Env XPS60+Cob XPS140+PT XPS60+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcM G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	78 153 €	65 315 €	42 043 €	36 936 €	120 197 €	102 251 €	189,78	4,79	5,41	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	94,24	20,35	5,31	0,00		OK	OK				
VAR82	Env XPS100+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcM G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	83 187 €	69 407 €	39 706 €	35 396 €	122 892 €	104 803 €	172,17	4,79	5,37	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	85,03	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR83	Env XPS100+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcM G0,85+RenST5,7	78 533 €	65 364 €	41 417 €	36 006 €	119 950 €	101 370 €	172,17	4,79	5,37	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	98,30	20,35	0,00	0,00		OK	OK				
VAR84	Env XPS140+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcM G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	85 800 €	71 532 €	39 417 €	35 050 €	125 217 €	106 582 €	167,17	4,79	4,96	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	82,16	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR85	Env PIR140+Cob PIR140+PT PIR140+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcM G0,85+RenST9,6	80 107 €	66 718 €	39 409 €	34 296 €	119 516 €	101 014 €	157,61	4,79	4,83	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	85,39	24,57	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR86	Env EPS80+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esg G0,874	66 344 €	55 201 €	44 394 €	39 034 €	110 737 €	94 234 €	196,09	4,79	5,70	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	134,13	0,00	0,00	0,00		OK	OK				
VAR87	Env PIR140+Cob PIR140+PT PIR140+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esg G0,874+RenFV44,8+ST 5,7	103 869 €	86 863 €	34 989 €	33 533 €	136 858 €	120 396 €	157,61	4,79	4,83	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	37,17	20,35	21,22	0,00	OK	OK	OK				
VAR88	Env PIR40+Cob XPS60+PT XPS40+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esg G0,874	69 436 €	57 718 €	45 556 €	39 891 €	114 995 €	97 709 €	203,33	4,79	5,35	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	137,69	0,00	0,00	0,00		OK	OK				
VAR89	Env EPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Calcd B0,91	81 742 €	68 457 €	53 134 €	48 868 €	134 876 €	117 326 €	196,06	4,79	5,70	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	105,87	0,00	0,00	27,12		OK	OK				
VAR90	Env PIR140+Cob PIR140+PT PIR140+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Calcd B0,91	96 394 €	80 369 €	48 899 €	45 906 €	145 293 €	126 275 €	157,61	4,79	4,83	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	85,26	0,00	0,00	27,12	OK	OK	OK				
VAR91	Env XPS60+Cob XPS140+PT XPS60+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Calcd B0,91	97 470 €	81 927 €	52 306 €	48 250 €	149 776 €	130 177 €	189,78	4,79	5,41	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	102,41	0,00	0,00	27,12		OK	OK				

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Quadro 81 - Apresentação de Nic, Nvc, Nac e Ntc - Faro (Caso Estudo 1)

VARIANTE	Descrição	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos Globais anos) (30		Nic (kWh/m².ano)		Nvc (kWh/m².ano)		Nac (kWh/m².ano)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m².ano)				Renováveis				Cumpre?		
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social	Total	η	Total	η	Total	η	Nic	Nvc	Nac	Total	ST	FV	BIO	Nic/Nt <1,25	Nvc/Nv <1,25	Ntc/Nt <1,5				
VAR00	Env EP540+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	61 825 €	51 290 €	73 663 €	61 647 €	135 488 €	112 937 €	75,22	0,9	13,68	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	245,69	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR01	Env EP550+Cob XP550+PT XP550+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	62 757 €	52 047 €	70 305 €	59 095 €	133 062 €	111 142 €	70,49	0,9	13,25	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	232,28	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR02	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	63 739 €	52 846 €	67 662 €	57 091 €	131 401 €	109 937 €	66,70	0,9	13,08	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	221,65	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR03	Env EP540+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	60 037 €	49 836 €	71 181 €	59 570 €	131 218 €	109 407 €	72,63	0,9	13,72	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	238,52	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR04	Env EP550+Cob XP550+PT XP550+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	60 969 €	50 593 €	67 892 €	57 071 €	128 861 €	107 664 €	67,98	0,9	13,37	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	225,39	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR05	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	61 951 €	51 392 €	65 298 €	55 105 €	127 249 €	106 497 €	64,28	0,9	13,11	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	214,95	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR06	Env EP540+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	62 240 €	51 750 €	39 837 €	44 308 €	102 077 €	96 058 €	72,63	0,92	13,72	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	114,30	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR07	Env EP550+Cob XP550+PT XP550+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	63 171 €	52 507 €	38 653 €	42 884 €	101 824 €	95 391 €	67,98	0,92	13,37	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	109,03	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR08	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	64 154 €	53 306 €	37 734 €	41 773 €	101 888 €	95 079 €	64,28	0,92	13,11	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	104,85	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR09	Env EP540+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 134 €	53 395 €	30 963 €	26 463 €	95 097 €	79 858 €	72,63	3,5	13,72	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	81,33	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR10	Env EP550+Cob XP550+PT XP550+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 065 €	54 153 €	30 086 €	25 805 €	95 152 €	79 958 €	67,98	3,5	13,37	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	77,71	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR11	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	66 048 €	54 951 €	29 413 €	25 306 €	95 461 €	80 257 €	64,28	3,5	13,11	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	74,84	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR12	Env EP550+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 447 €	53 650 €	30 390 €	26 032 €	94 837 €	79 682 €	69,82	3,5	13,32	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	78,98	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR13	Env EP540+Cob XP550+PT XP540+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 376 €	53 592 €	30 759 €	26 309 €	95 134 €	79 900 €	71,44	3,5	13,74	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	80,50	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR14	Env EP540+Cob XP540+PT XP550+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	64 511 €	53 702 €	30 920 €	26 433 €	95 431 €	80 135 €	72,31	3,5	13,74	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	81,12	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR15	Env EP540+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	68 788 €	57 438 €	29 488 €	25 853 €	98 276 €	83 291 €	72,63	3,5	13,72	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	68,06	0,00	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR16	Env EP550+Cob XP550+PT XP550+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	69 719 €	58 196 €	28 611 €	25 195 €	98 331 €	83 391 €	67,98	3,5	13,37	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	64,44	0,00	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR17	Env EP560+Cob XP5 60+PT XP560+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	70 702 €	58 994 €	27 938 €	24 696 €	98 640 €	83 691 €	64,28	3,5	13,11	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	61,57	0,00	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR18	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874+RenST5,7	66 205 €	54 988 €	64 749 €	53 218 €	130 954 €	108 206 €	66,70	0,9	13,08	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	198,37	20,35	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR19	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874+RenST5,7	64 417 €	53 534 €	62 385 €	51 231 €	126 802 €	104 766 €	64,28	0,9	13,11	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	191,67	20,35	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR20	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02+RenST5,7m2	66 620 €	55 448 €	34 821 €	37 899 €	101 440 €	93 347 €	64,28	0,92	13,11	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	82,73	20,35	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR21	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874+RenST5,7+RenFV11,2	70 859 €	59 031 €	63 274 €	52 608 €	134 133 €	111 639 €	66,70	0,9	13,08	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	185,10	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR22	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874+RenST5,7+RenFV11,2	69 071 €	57 577 €	60 910 €	50 621 €	129 981 €	108 199 €	64,28	0,9	13,11	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	178,40	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR23	Env EP560+Cob XP560+PT XP560+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02+RenST5,7m2+RenFV11,2	71 274 €	59 491 €	33 346 €	37 289 €	104 619 €	96 780 €	64,28	0,92	13,11	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	69,46	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK				
VAR24	Env EP580+Cob XP580+PT XP580+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	65 614 €	54 370 €	64 566 €	54 751 €	130 180 €	109 121 €	62,27	0,9	12,69	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	209,10	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR25	Env EP580+Cob XP580+PT XP580+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	63 826 €	52 916 €	62 055 €	52 652 €	125 880 €	105 569 €	59,62	0,9	12,81	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	201,82	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR26	Env EP580+Cob XP580+PT XP580+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	66 029 €	54 830 €	36 599 €	40 397 €	102 628 €	95 227 €	59,62	0,92	12,81	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	99,60	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR27	Env EP580+Cob XP580+PT XP580+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	67 923 €	56 476 €	28 590 €	24 701 €	96 513 €	81 177 €	59,62	3,5	12,81	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	71,26	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR28	Env EP580+Cob XP580+PT XP580+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02+RenST5,7	68 494 €	56 972 €	33 686 €	36 524 €	102 181 €	93 496 €	59,62	0,92	12,81	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	77,48	20,35	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR29	Env PIR 50+Cob XP540 PT XP540+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	66 541 €	55 352 €	29 410 €	25 328 €	95 952 €	80 680 €	64,38	3,5	12,61	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	74,48	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR30	Env PIR40+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	63 506 €	52 656 €	69 460 €	58 473 €	132 965 €	111 129 €	69,27	0,9	12,79	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	228,61	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR31	Env PIR40+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	61 718 €	51 202 €	66 939 €	56 367 €	128 657 €	107 570 €	66,61	0,9	12,90	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	221,29	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR32	Env PIR40+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	63 921 €	53 116 €	38 320 €	42 496 €	102 241 €	95 613 €	66,61	0,92	12,90	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	107,25	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR33	Env PIR40+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 815 €	54 762 €	29 822 €	25 627 €	95 636 €	80 389 €	66,61	3,5	12,90	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	76,33	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR34	Env PIR40+Cob XP540+PT XP540+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02+RenST5,7	66 386 €	55 258 €	35 407 €	38 623 €	101 794 €	93 881 €	66,61	0,92	12,90	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	85,14	20,35	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR35	Env EP560+Cob PIR40+PT PIR40+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9	65 243 €	54 297 €	29 347 €	25 249 €	94 590 €	79 546 €	64,06	3,5	13,10	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	74,68	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR36	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	65 417 €	54 210 €	64 375 €	54 615 €	129 792 €	108 825 €	61,96	0,9	12,62	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	208,20	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR37	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	63 629 €	52 757 €	61 863 €	52 516 €	125 492 €	105 273 €	59,31	0,9	12,74	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	200,91	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR38	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,3+Calcd G0,92+AC E4,02	65 832 €	54 670 €	36 548 €	40 333 €	102 380 €	95 003 €	59,31	0,92	12,74	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	99,22	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK				
VAR39</																											

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VARIANTE	Descrição	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos Globais (30 anos)		Nic (kWh/m².ano)		Nvc (kWh/m².ano)		Nac (kWh/m².ano)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m².ano) Renováveis				Cumpre?		
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social	Total	η	Total	η	Total	η	Nic	Nvc	Nac	Total	ST	FV	BIO	Nic/Ni <1,25	Nvc/Nv <1,25	Ntc/Nt <1,5
VAR60	Env EPS120+Cob XPS80+PT XPS80+Vidr U2,3+Cal'd G0,92+AC E4,02	67 317 €	55 878 €	35 983 €	39 696 €	103 300 €	95 574 €	57,37	0,92	11,87	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	96,57	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR61	Env EPS100+Cob PIR80+PT XPS80+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esq G0,874	67 836 €	56 414 €	27 385 €	26 084 €	95 221 €	82 499 €	59,07	4,79	11,99	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	66,52	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR62	Env EPS80+Cob XPS140+ PT XPS80+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esq G0,874	68 155 €	56 674 €	27 820 €	26 403 €	95 975 €	83 077 €	61,93	4,79	12,65	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	68,43	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR63	Env EPS100+Cob XPS140+PT XPS80+Vidr U2,3+Cal'd G0,92+AC E4,02	68 101 €	56 515 €	35 663 €	39 257 €	103 764 €	95 772 €	55,68	0,92	12,58	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	95,17	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR64	Env EPS60+Cob PIR40+PT PIR40+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esq G0,874	65 407 €	54 440 €	27 679 €	26 273 €	93 086 €	80 712 €	60,87	4,79	13,18	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	68,20	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR65	Env PIR50+Cob PIR50+PT PIR50+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esq G0,874	67 944 €	56 502 €	27 563 €	26 226 €	95 507 €	82 730 €	59,31	4,79	12,74	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	67,12	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR66	Env EPS100+Cob XPS120+PT XPS140+Vidr U2,3+Cal'd G0,92+AC E4,02	70 108 €	58 147 €	35 727 €	39 358 €	105 835 €	97 505 €	55,99	0,92	12,11	4,02	24,68	0,92	1	2,5	1	95,22	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR67	Env EPS120+Cob XPS100+PT XPS100+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	66 426 €	55 031 €	58 933 €	50 307 €	125 360 €	105 338 €	55,08	0,9	12,42	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	188,96	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR68	Env EPS80+Cob XPS140+PT XPS80+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esq G0,874	68 781 €	57 183 €	27 406 €	26 100 €	96 187 €	83 283 €	58,24	4,79	12,82	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	66,61	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR69	Env EPS140+Cob XPS120+PT XPS100+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	67 497 €	55 901 €	57 856 €	49 501 €	125 353 €	105 402 €	53,49	0,9	12,31	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	184,48	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR70	Env EPS140+Cob XPS140+PT XPS100+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	67 980 €	56 293 €	57 525 €	49 253 €	125 505 €	105 546 €	53,00	0,9	12,31	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	183,12	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR71	Env EPS140+Cob XPS140+PT XPS120+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	68 809 €	56 968 €	57 244 €	49 044 €	126 053 €	106 012 €	52,56	0,9	12,33	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	181,91	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR72	Env EPS140+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	69 639 €	57 643 €	57 117 €	48 954 €	126 756 €	106 597 €	52,34	0,9	12,35	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	181,31	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR17A	Env EPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	71 198 €	59 398 €	27 715 €	24 530 €	98 913 €	83 928 €	62,93	3,5	13,14	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	60,64	0,00	5,31	0,00	OK	OK	OK
VAR17B	Env XPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2	72 006 €	60 055 €	27 621 €	24 475 €	99 627 €	84 530 €	62,19	3,5	13,04	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	60,02	0,00	5,31	0,00	OK	OK	OK
VAR17C	Env XPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2+ST5,7	74 698 €	62 197 €	24 953 €	22 844 €	99 651 €	85 041 €	62,19	3,5	13,04	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	45,49	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK
VAR17D	Env XPS100+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+BombCalorE3,5/2,9+RenFV11,2+ST5,7	81 178 €	67 465 €	23 659 €	21 932 €	104 836 €	89 397 €	54,06	3,5	12,57	2,9	24,68	3,5	2,5	2,5	2,5	39,28	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK
VAR81	Env XPS60+Cob XPS140+PT XPS60+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcm G0,85+RenFT11,2+RenST5,7	78 153 €	65 315 €	26 147 €	24 799 €	104 300 €	90 113 €	61,19	4,79	12,55	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	31,57	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK
VAR82	Env XPS100+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcm G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	83 187 €	69 407 €	25 206 €	24 325 €	108 393 €	93 732 €	54,06	4,79	12,57	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	27,86	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK
VAR83	Env XPS100+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcm G0,85+RenST5,7	78 533 €	65 364 €	26 918 €	24 935 €	105 450 €	90 299 €	54,06	4,79	12,57	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	41,13	20,35	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR84	Env XPS140+Cob XPS140+PT XPS140+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcm G0,85+RenFV11,2+RenST5,7	85 800 €	71 532 €	25 346 €	24 307 €	111 147 €	95 838 €	52,78	4,79	11,76	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	26,69	20,35	5,31	0,00	OK	OK	OK
VAR85	Env PIR140+Cob PIR140+PT PIR140+Vidr U2,3+AC E4,7/4,02+ TermoAcm G0,85+RenST9,6	80 107 €	66 718 €	26 125 €	24 153 €	106 232 €	90 872 €	49,27	4,79	11,54	4,02	24,68	0,85	2,5	2,5	1	33,02	24,57	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR86	Env EPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esq G0,874	66 344 €	55 201 €	27 940 €	26 470 €	94 283 €	81 671 €	62,93	4,79	13,14	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	69,25	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR87	Env PIR140+Cob PIR 140+PT PIR140+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Esq G0,874 +RenFV44,8+ST 5,7	103 869 €	86 863 €	21 702 €	23 387 €	125 570 €	110 250 €	49,24	4,79	11,54	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	-15,21	20,35	21,22	0,00	OK	OK	OK
VAR88	Env PIR40+Cob XPS50+PT XPS40+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+Esq G0,874	69 439 €	57 718 €	28 520 €	26 984 €	97 958 €	84 701 €	66,24	4,79	12,40	4,02	24,68	0,874	2,5	2,5	1	70,52	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR89	Env EPS60+Cob XPS80+PT XPS60+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Cald B0,91	81 742 €	68 457 €	36 683 €	36 308 €	118 426 €	104 765 €	62,93	4,79	13,14	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	41,02	0,00	0,00	27,12	OK	OK	OK
VAR90	Env PIR140+Cob PIR140+PT PIR140+Vidr U2,3+AC E4,79/4,02+ Cald B0,91	96 394 €	80 369 €	35 612 €	35 761 €	132 005 €	116 130 €	49,24	4,79	11,54	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	32,88	0,00	0,00	27,12	OK	OK	OK
VAR91	Env_XPS60+Cob_XPS140+PT_XPS60+Vidr_U2,3+AC_E4,79/4,02+ Cald_B0,91	97 470 €	81 927 €	36 409 €	36 112 €	133 879 €	118 039 €	61,19	4,79	12,55	4,02	24,68	0,91	2,5	2,5	1	39,74	0,00	0,00	27,12	OK	OK	OK

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Quadro 82 - Apresentação de Nic, Nvc, Nac e Ntc - Porto (Caso Estudo 2)

VARIANTE	Descrição	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m²,ano)		Nvc (kWh/m²,ano)		Nac (kWh/m²,ano)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m²,ano)		Renováveis			Cumpre?		
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social	Total	η	Total	η	Total	η	Nic	Nvc	Nac	Total	ST	FT	BIO	Nic/Ni ≤1,25	Nvc/Nvc 1,25	Ntc/Ntc ≤1,5	
VAR00	Env EPS40+Cob XPS(60+0)+PT XPS40+Vidr U2,9+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	96 906 €	79 940 €	173 668 €	142 463 €	270 574 €	222 403 €	149,84	0,90	2,04	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	2,5	488,44	0,00	0,00	0,00	OK	OK		
VAR01	Env EPS40+Cob MW80+PT XPS40+Vidr U2,9+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	100 327 €	82 722 €	168 320 €	138 480 €	268 647 €	221 202 €	143,70	0,90	2,05	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	428,67	0,00	0,00	0,00	OK	OK		
VAR02	Env EPS40+Cob MW100+PT XPS40+Vidr U2,9+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	100 454 €	82 825 €	167 748 €	138 053 €	268 202 €	220 878 €	143,05	0,90	2,05	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	426,87	0,00	0,00	0,00	OK	OK		
VAR03	Env EPS40+Cob MW100+PT XPS40+Vidr U2,9+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	95 489 €	78 788 €	162 902 €	133 915 €	258 391 €	212 704 €	139,57	0,90	2,06	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	417,19	0,00	0,00	0,00	OK	OK		
VAR04	Env EPS60+Cob MW80+PT XPS60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	97 554 €	80 467 €	156 584 €	129 116 €	254 138 €	209 583 €	132,71	0,90	1,91	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	398,08	0,00	0,00	0,00	OK	OK		
VAR05	Env EPS60+Cob XPS(60+40)+PT XPS60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	98 173 €	80 970 €	158 153 €	130 300 €	256 326 €	211 270 €	134,45	0,90	1,91	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	402,91	0,00	0,00	0,00	OK	OK		
VAR06	Env EPS40+Cob XPS(60+0)+PT XPS40+Vidr U2,9+Cald G0,92+AC E4,97	103 317 €	85 510 €	90 744 €	103 568 €	194 062 €	189 078 €	149,84	0,92	2,04	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	190,95	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR07	Env EPS60+Cob MW80+PT XPS60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	103 966 €	86 037 €	83 908 €	95 455 €	187 874 €	181 492 €	132,71	0,92	1,91	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	172,27	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR08	Env EPS60+Cob MW100+PT XPS60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	104 093 €	86 141 €	83 725 €	95 226 €	187 818 €	181 366 €	132,06	0,92	1,91	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	171,56	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR09	Env EPS40+Cob XPS(60+0)+PT XPS40+Vidr U2,9+BombCalorE3,5/2,9	117 156 €	97 275 €	57 634 €	46 756 €	174 790 €	144 032 €	149,84	3,50	2,04	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	126,57	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR10	Env EPS60+Cob MW80+PT XPS60+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	113 192 €	94 053 €	51 934 €	43 379 €	165 126 €	137 431 €	132,71	3,50	1,91	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	114,22	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR11	Env EPS60+Cob XPS(60+40)+PT XPS60+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	113 810 €	94 555 €	52 299 €	43 643 €	166 109 €	138 198 €	134,45	3,50	1,91	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	115,46	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR12	Env EPS80+Cob MW80+PT XPS80+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	115 450 €	95 888 €	50 796 €	42 547 €	166 245 €	138 435 €	127,50	3,50	1,81	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	110,41	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR13	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	120 127 €	99 691 €	49 659 €	41 825 €	169 785 €	141 515,1	120,67	3,50	1,69	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	105,43	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR14	Env EPS120+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	117 916 €	97 893 €	49 450 €	41 580 €	167 366 €	139 473,0	121,11	3,50	1,69	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	105,74	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR15	Env EPS80+Cob XPS(60+80)+PT XPS80+Vidr U2,5+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	117 214 €	97 323 €	50 905 €	42 689 €	168 120 €	140 012 €	127,06	3,50	1,81	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	110,10	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR16	Env EPS100+Cob P XPS120+PT PIR60+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	125 443 €	104 013 €	48 869 €	40 766 €	174 313 €	144 779 €	124,27	3,50	1,76	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	108,05	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR17	Env XPS80+Cob MW100+PT XPS80+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9+RenFV2,8	122 682 €	102 090 €	54 162 €	47 078 €	176 844 €	149 168 €	125,84	3,50	1,79	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	99,04	0,00	4,06	0,00	OK	OK	OK	
VAR18	Env EPS120+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874+RenST1,9	106 814 €	88 248 €	144 154 €	118 239 €	250 968 €	206 487 €	121,11	0,90	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	346,08	17,17	0,00	0,00	OK	OK		
VAR19	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874+RenST1,9	109 025 €	90 046 €	144 061 €	118 254 €	253 086 €	208 300 €	120,67	0,90	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	344,87	17,17	0,00	0,00	OK	OK		
VAR20	Env EPS60+Cob XPS(60+40)+PT XPS60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	104 584 €	86 540 €	84 436 €	96 107 €	189 020 €	182 647 €	134,45	0,92	1,91	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	174,15	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR21	Env EPS120+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874+RenST1,9+FT2,8	112 591 €	93 267 €	147 790 €	122 938 €	260 381 €	216 205 €	121,11	0,90	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	335,93	17,17	4,06	0,00	OK	OK		
VAR22	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874+RenST1,9+FT2,8	114 802 €	95 065 €	147 697 €	122 953 €	262 499 €	218 018 €	120,67	0,90	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	334,72	17,17	4,06	0,00	OK	OK		
VAR23	Env EPS120+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97+Ren ST1,9	115 436 €	95 616 €	78 733 €	88 447 €	194 169 €	184 063 €	121,11	0,92	1,69	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	140,87	17,17	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR24	Env EPS40+Cob MW100+PT XPS40+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Cald B0,91	127 534 €	106 627 €	94 357 €	92 344 €	221 891 €	198 971 €	139,57	4,65	2,06	4,97	24,89	0,91	2,5	2,5	1	76,07	0,00	0,00	27,35	OK	OK	OK	
VAR25	Env EPS80+Cob XPS(60+80)+PT XPS80+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	101 577 €	83 738 €	151 659 €	125 451 €	253 235 €	209 189 €	127,06	0,90	1,81	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	382,33	0,00	0,00	0,00	OK	OK		
VAR26	Env EPS100+Cob XPS(60+80)+PT XPS80+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	109 232 €	90 319 €	81 612 €	92 590 €	190 844 €	182 908 €	124,55	0,92	1,75	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	163,32	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR27	Env EPS40+Cob MW100+PT XPS40+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+TermoAcM E0,80	90 381 €	74 350 €	71 136 €	59 655 €	161 517 €	134 005 €	139,57	4,65	2,06	4,97	24,89	0,80	2,5	2,5	2,5	153,85	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR28	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	110 900 €	91 675 €	80 533 €	91 240 €	191 433 €	182 915 €	120,67	0,92	1,69	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	159,07	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR29	Env EPS80+Cob XPS(60+100)+PT XPS80+Vidr U2,5+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	117 788 €	97 789 €	50 881 €	42 707 €	168 668 €	140 496 €	126,41	3,50	1,81	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	109,63	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR30	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+Esq G0,874	101 386 €	83 409 €	54 735 €	51 359 €	156 121 €	134 768 €	120,67	4,65	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	94,20	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR31	Env EPS120+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+Esq G0,874	99 176 €	81 612 €	54 501 €	51 085 €	153 676 €	132 705 €	121,11	4,65	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	94,44	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR32	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT XPS80+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	111 049 €	91 796 €	80 777 €	91 537 €	191 826 €	183 333 €	121,39	0,92	1,69	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	159,85	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR33	Env XPS100+Cob XPS(60+60)+PT PIR60+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	119 178 €	98 919 €	50 393 €	42 318 €	169 572 €	141 237 €	124,70	3,50	1,76	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	108,36	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR34	Env XPS100+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	111 099 €	91 836 €	81 395 €	92 282 €	192 493 €	184 118 €	123,18	0,92	1,76	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	161,83	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR35	Env XPS100+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+BombCalorE3,5/2,9	118 114 €	98 054 €	49 836 €	41 879 €	167 950 €	139 933 €	122,61	3,50	1,73	2,90	24,89	3,50	2,5	2,5	2,5	106,84	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR36	Env EPS40+Cob MW100+PT XPS40+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Esq G0,874+RenST1,9	96 222 €	80 203 €	55 497 €	50 248 €	162 418 €	139 281 €	139,57	4,65	2,06	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	84,90	17,17	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR37	Env PIR50+Cob P PUR100+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,02+Esq G0,874	108 087 €	89 031 €	146 636 €	121 327 €	254 723 €	210 267 €	123,17	0,90	1,76	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	371,50	0,00	0,00	0,00	OK	OK		
VAR38	Env XPS100+Cob MW80+PT PIR60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	108 760 €	89 935 €	81 087 €	91 972 €	189 847 €	181 907 €	123,31	0,92	1,73	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	161,95	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK	
VAR39td																								

Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

VARIANTE	Descrição	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos Globais (30 anos)		Ntc (kWh/m²,ano)		Nvc (kWh/m²,ano)		Nac (kWh/m²,ano)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m²,ano)	Renováveis			Cumpre?		
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social	Total	η	Total	η	Total	η	Nic	Nvc	Nac	Total	ST	FT	BIO	Nic/Nv <1,25	Nvc/Nvc 1,25	Ntc/Nt <1,5
VAR60	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97	110 900 €	91 675 €	80 533 €	91 240 €	191 433 €	182 915 €	120,67	0,92	1,69	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	159,07	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR61	Env EPS120+Cob XPS(60+40)+PT XPS40+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+Esq G0,874	87 816 €	80 588 €	55 407 €	51 749 €	153 323 €	132 337 €	126,90	4,65	1,68	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	97,55	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR62	Env EPS40+Cob MW80+PT XPS40+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Esq G0,874	82 258 €	75 989 €	58 660 €	54 138 €	150 919 €	130 126 €	146,52	4,65	2,05	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	108,28	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR63	Env EPS60+Cob XPS(60+40)+PT XPS60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97+ RenST1,9	104 168 €	90 480 €	82 492 €	93 139 €	186 660 €	183 619 €	134,45	0,92	1,91	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	155,49	17,17	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR64	Env EPS80+Cob MW100+PT XPS80+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+Esq G0,874	94 578 €	77 875 €	56 187 €	52 293 €	150 766 €	130 168 €	132,06	4,65	1,91	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	100,44	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR65	Env XPS100+Cob P PUR100+PT PIR50+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+Esq G0,874	104 876 €	86 084 €	53 487 €	48 959 €	158 173 €	136 043 €	123,01	4,65	1,73	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	95,48	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR66	Env XPS100+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+Cald G0,92+AC E4,97+ RenST1,9	110 682 €	95 777 €	79 450 €	89 313 €	190 133 €	185 090 €	123,18	0,92	1,76	4,97	24,89	0,92	1	2,5	1	143,16	17,17	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR67	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	104 489 €	86 105 €	146 006 €	121 222 €	250 495 €	207 328 €	120,67	0,90	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	364,52	0,00	0,00	0,00	OK	OK	
VAR68	Env XPS100+Cob MW100+PT PIR50+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+Esq G0,874	98 097 €	80 735 €	54 946 €	51 428 €	153 043 €	132 163 €	123,57	4,65	1,84	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	95,84	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR69	Env EPS120+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	102 278 €	84 308 €	146 098 €	121 208 €	248 376 €	205 515 €	121,11	0,90	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	365,73	0,00	0,00	0,00	OK	OK	
VAR70	Env EPS120+Cob P PUR100+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	108 857 €	89 656 €	144 365 €	119 521 €	253 222 €	209 178 €	120,67	0,90	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	364,52	0,00	0,00	0,00	OK	OK	
VAR71	Env XPS80+Cob P PUR100+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	107 698 €	88 714 €	145 576 €	120 422 €	253 274 €	209 136 €	122,06	0,90	1,73	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	368,40	0,00	0,00	0,00	OK	OK	
VAR72	Env XPS100+Cob P PUR120+PT PIR60+Vidr U2,5+Res E0,9+AC E4,97+Esq G0,874	109 830 €	90 447 €	144 375 €	119 540 €	254 204 €	209 987 €	120,64	0,90	1,71	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	364,44	0,00	0,00	0,00	OK	OK	
VAR17A	Env EPS40+Cob MW80+PT XPS40+Vidr U2,9+AC E4,97/4,65+ Esq G0,874	87 224 €	80 026 €	59 753 €	55 411 €	156 977 €	135 436 €	143,70	4,65	2,05	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	106,76	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR17B	Env EPS40+Cob MW100+PT XPS40+Vidr U2,9+AC E4,97/4,65+ Esq G0,874	87 351 €	80 129 €	59 670 €	55 386 €	157 021 €	135 485 €	143,05	4,65	2,05	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	106,42	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR17C	Env EPS40+Cob MW100+PT XPS40+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Esq G0,874	82 386 €	75 092 €	57 441 €	53 217 €	149 827 €	129 309 €	139,57	4,65	2,06	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	104,55	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR17D	Env EPS60+Cob MW80+PT XPS60+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Esq G0,874	94 451 €	77 771 €	56 271 €	52 348 €	150 722 €	130 119 €	132,71	4,65	1,91	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	100,79	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR81	Env PIR50+Cob P PUR100+PT PIR50+Vidr U2,5+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ TermoAcm E0,80	101 703 €	83 555 €	67 664 €	56 735 €	169 367 €	140 290 €	126,02	4,65	1,80	4,97	24,89	0,80	2,5	2,5	2,5	146,44	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR82	Env EPS60+Cob MW80+PT XPS60+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ TermoAcm E0,80	92 446 €	76 029 €	67 950 €	58 787 €	160 395 €	134 816 €	132,71	4,65	1,91	4,97	24,89	0,80	2,5	2,5	2,5	150,09	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR83	Env EPS80+Cob MW80+PT XPS80+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ TermoAcm G0,89	94 703 €	77 865 €	65 769 €	58 200 €	160 472 €	136 065 €	127,50	4,65	1,81	4,97	24,89	0,80	2,5	2,5	2,5	147,24	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR84	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ TermoAcm E0,80	99 380 €	81 667 €	68 431 €	57 797 €	167 811 €	139 465 €	120,67	4,65	1,69	4,97	24,89	0,80	2,5	2,5	2,5	143,51	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR85	Env EPS120+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ TermoAcm E0,80	97 169 €	79 870 €	68 196 €	57 533 €	165 366 €	137 403 €	121,11	4,65	1,69	4,97	24,89	0,80	2,5	2,5	2,5	143,74	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR86	Env XPS80+Cob MW100+PT XPS80+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Esq G0,874	98 164 €	80 790 €	55 286 €	51 671 €	153 450 €	132 460 €	125,84	4,65	1,79	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	97,03	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR87	Env EPS120+Cob MW100+PT PIR60+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+Esq G0,874+ST1,9	103 711 €	85 552 €	52 557 €	48 126 €	156 267 €	133 676 €	121,11	4,65	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	74,79	17,17	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR88	Env EPS120+Cob XPS(60+0)+PT 0+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+Esq G0,874+ ST1,9	82 506 €	76 443 €	57 102 €	53 812 €	149 608 €	130 255 €	120,67	4,65	1,69	4,97	24,89	0,87	2,5	2,5	1	94,20	0,00	0,00	0,00	OK	OK	OK
VAR89	Env PIR50+Cob P PUR100+PT PIR50+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Cald B0,91	147 803 €	123 106 €	91 161 €	89 709 €	238 963 €	212 815 €	126,02	4,65	1,80	4,97	24,89	0,91	2,5	2,5	1	68,66	0,00	0,00	27,35	OK	OK	OK
VAR90	Env EPS80+Cob MW80+PT XPS80+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Cald B0,91	131 857 €	110 142 €	92 370 €	90 889 €	224 226 €	201 031 €	127,50	4,65	1,81	4,97	24,89	0,91	2,5	2,5	1	69,46	0,00	0,00	27,35	OK	OK	OK
VAR91	Env EPS120+Cob XPS(60+100)+PT PIR60+Vidr U2,5+AC E4,97/4,65+ Cald B0,91	136 534 €	113 944 €	91 652 €	90 486 €	228 185 €	204 430 €	120,67	4,65	1,69	4,97	24,89	0,91	2,5	2,5	1	65,73	0,00	0,00	27,35	OK	OK	OK